



SKRIPSI – ME0141501

**ANALISIS *REMAINING LIFE* DAN PENJADWALAN
PROGRAM INSPEKSI PADA *PRESSURE VESSEL*
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RISK BASED
INSPECTION (RBI)***

**DYAH ARINA WAHYU L.
NRP. 4212 100 009**

Dosen Pembimbing
Ir. Dwi Priyanta, M.SE
Dr. Dhimas Widhi H., ST., M.Sc.

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT – ME0141501

**REMAINING LIFE ASSESSMENT AND INSPECTION
PLANNING FOR PRESSURE VESSEL USING RISK
BASED INSPECTION METHOD (RBI)**

**DYAH ARINA WAHYU L.
NRP. 4212 100 009**

Supervisor
Ir. Dwi Priyanta, M.SE
Dr. Dhimas Widhi H., ST., M.Sc.

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *REMAINING LIFE* DAN PENJADWALAN PROGRAM INSPEKSI PADA *PRESSURE VESSEL* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RISK BASED* *INSPECTION (RBI)*

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi *Reliability, Availability, Maintainability, and*
Safety (RAMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember

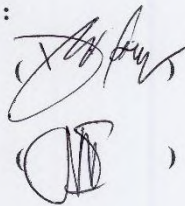
Oleh :

DYAH ARINA WAHYU L.
NRP 4212 100 009

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Dwi Priyanta, M.SE.
NIP. 196807031994021001

Dr. Dhimas Widhi H., ST. M.Sc.
NIP. 198705272014041001



SURABAYA
JULI, 2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *REMAINING LIFE* DAN PENJADWALAN PROGRAM INSPEKSI PADA *PRESSURE VESSEL* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RISK BASED INSPECTION (RBI)*

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

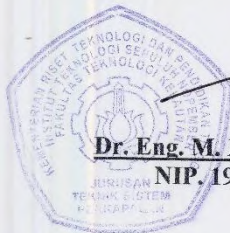
**Bidang Studi *Reliability, Availability, Maintainability, and
Safety (RAMS)***

**Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**DYAH ARINA WAHYU L.
NRP 4212 100 009**

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badruz Zaman, ST., MT.
NIP. 197708022008011007

D. Catatan

**ANALISIS *REMAINING LIFE* DAN PENJADWALAN
PROGRAM INSPEKSI PADA *PRESSURE VESSEL*
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RISK BASED
INSPECTION (RBI)***

Nama Mahasiswa : Dyah Arina Wahyu L.
NRP : 4212100009
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Dwi Priyanta, M.SE
DR. Dhimas Widhi H., ST., M.Sc.

Abstrak

Seiring perkembangan eksplorasi minyak dan gas bumi di dunia, perusahaan minyak dan gas di Indonesia juga turut berlomba-lomba untuk mendapatkan ladang minyak dan gas bumi sebanyak-banyaknya. Perkembangan ini turut dipengaruhi oleh aturan-aturan pemerintah mengenai keselamatan dan pencegahan bahaya baik pada unit yang dikelola maupun tenaga kerja pengelola. Salah satu contoh aturan mengenai pengelolaan minyak bumi adalah Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 11 tahun 1979 mengenai Keselamatan Kerja pada Pemurnian dan Pengolahan Minyak dan Gas Bumi. Aturan mengenai keselamatan bagi tenaga kerja pengelola usaha minyak dan gas bumi diatur dalam Undang-undang nomor 1 tahun 1970. Untuk itu semua peralatan-peralatan (unit kerja) harus dijamin kehandalaannya agar tidak menimbulkan bahaya baik bagi pekerja maupun lingkungan. *Risk Based Inspection (RBI)* adalah sebuah pendekatan sistematis tentang metode pengelolaan inspeksi terhadap peralatan atau unit kerja yang didasarkan pada tingkat resiko yang dimiliki oleh peralatan atau unit kerja tersebut. Penilaian probabilitas kegagalan dilakukan berdasarkan *thinning damage factor* dan *eksternal damage factor*. Sedangkan untuk perhitungan konsekuensi dibatasi pada konsekuensi berdasarkan area level 1. Analisis RBI dalam tugas akhir ini diaplikasikan pada *pressure vessel* V110, V120, V130, dan V140, dan *piping system* 2 inch dan 4 inch. Hasil analisis dalam tugas akhir ini menunjukkan besarnya resiko pada *RBI date* ialah

sebesar 17,732 ft². *Pressure vessel* akan diinspeksi pada tahun ke-9 setelah dilakukan analisis RBI. Besarnya resiko pada target date setelah dilakukan inspeksi ialah sebesar 14.68 ft². Level resiko untuk *pipng system* 2 inch ialah 1C atau termasuk dalam kategori *medium risk*. Sedangkan untuk *pipng system* 4 inch adalah 1E, yaitu *medium high risk*.

Kata kunci : level resiko, *pressure vessel*, inspeksi, resiko, *risk based inspection*.

**REMAINING LIFE ASSESSMENT AND INSPECTION
PLANNING FOR PRESSURE VESSEL USING RISK BASED
INSPECTION METHOD (RBI)**

Name : Dyah Arina Wahyu L.
NRP : 4212100009
Departement : Marine Engineering FTK - ITS
Supervisor : Ir. Dwi Priyanta, M.SE
DR. Dhimas Widhi H., ST., M.Sc.

Abstract

Due to development of exploration oil and gas in the world, oil and gas companies in Indonesia were also compete to acquire oil and gas fields as much as possible. This development also influenced by government rules regarding safety and the prevention of hazards both on the unit and the labor. One example of the rules concerning the management of petroleum is the Indonesian Government Regulation No. 11 of 1979 concerning Safety in Refining and Oil and Gas. Rules on labor safety for managers of oil and gas are regulated in Law No. 1 1970. All equipment should be guaranteed their reliability so as not to pose a danger both for the unit and the environment. Risk Based Inspection (RBI) is a systematic approach of the management method of inspection of the equipment or unit of work that is based on the level of risk which is owned by the equipment or the work unit. Failure probability assessment performed by thinning damage the external factor and damage factor. For the calculation of the consequences limited to the consequences based on area of level 1. RBI analysis in this thesis was applied to the pressure vessel V110, V120, V130, and V140, and piping system 2 inch and 4 inch. The results of the analysis in this thesis shows the magnitude of risk at RBI date is 17.732 ft². Pressure vessel will be inspected in the 9th year after the RBI analysis. The magnitude of risk at target date after the inspection is at 14.68 ft². Risk level of 2 inch piping system is 1C or included in the category of medium risk. And for the 4-inch piping system is 1E, which is a medium high risk.

Keywords : pressure vessel, inspection planning, risk, risk based inspection, risk level.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN **Error! Bookmark not defined.**

Abstrakvi

Abstract viii

KATA PENGANTAR..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR.....13

DAFTAR TABEL13

BAB I PENDAHULUAN **Error! Bookmark not defined.**

1.1 Latar Belakang **Error! Bookmark not defined.**

1.2 Perumusan dan Pembatasan Masalah**Error! Bookmark not defined.**

1.3 Tujuan..... **Error! Bookmark not defined.**

1.4 Manfaat..... **Error! Bookmark not defined.**

BAB II TINJAUAN PUSTAKA . **Error! Bookmark not defined.**

2.1 Teori Penunjang ... **Error! Bookmark not defined.**

2.1.1 *Pressure Vessel* **Error! Bookmark not defined.**

2.1.2 *Liqufied Petroleum Gasses (LPG)***Error! Bookmark not defined.**

2.1.3 *Risk Based Inspection (RBI)***Error! Bookmark not defined.**

2.1.4 Resiko..... **Error! Bookmark not defined.**

2.1.5 Analisis Resiko.. **Error! Bookmark not defined.**

2.1.6 Penilaian Resiko **Error! Bookmark not defined.**

2.1.7 *Failure Modes* ... **Error! Bookmark not defined.**

2.1.8 Program Inspeksi**Error! Bookmark not defined.**

2.1.9. *Analisis Remaining Life***Error! Bookmark not defined.**

2.2 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya**Error! Bookmark not defined.**

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

- 3.1 Studi Literatur
- 3.2 Pengumpulan Data
- 3.3 *Evaluasi Existing Inspection*
- 3.4 Identifikasi *Damage Mechanisms*
- 3.5 Penentuan *Damage Mechanisms*
- 3.6 Analisis Probabilitas
 - 3.6.1. Analisis probabilitas tangki (*pressure vessels*)
 - 3.6.1.1. Analisis *Thinning Damage Factor*
 - 3.6.1.2. Analisis *External Damage Factor*
 - 3.6.1.3. Analisis probabilitas pipa
- 3.7 Analisis *Consequences*
- 3.8. Penentuan TingkatResiko
- 3.9. *Inspection Planning*
- 3.9. Analisis *Remaining Life*
- 3.10. Analisis efektifitas inspeksi
- 3.11. Kesimpulan dan Saran

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

- 4.1 DATA.....
- 4.2 Identifikasi *Damage Mechanism*
- 4.3 Analisis Resiko.....
- 4.4. *Inspection Planning*
- 4.5. Analisis *Remaining Life*

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 15

5.1.	Kesimpulan.....	15
5.2.	Saran.....	16
DAFTAR PUSTAKA.....		17

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Hasil studi literatur **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 1 Data *pressure vessel V110*.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 2 Data *pressure vessel V120*.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 3 Data *pressure vessel V130*.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 4 Data *pressure vessel V140*.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 5 Komposisi kandungan LPG.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 6 Karakteristik etil merkaptan**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 7 Interpolasi nilai $f(T, pH)$**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 8 Data *damage factor* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 9 Ukuran Diameter Pipa **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 10 Data perbandingan usia pada RBI *date* dan *Target date* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 11 Perbandingan *damage factor* pada RBI *date* dan *plan date* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 12 perbandingan nilai *damage factor* yang baru**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 13 Nilai Art pada *target date*.....**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 *Pressure vessel* tipe horisontal..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 1. 2 *Pressure vessel* tipe vertikal ..**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 1 Tipe-tipe *head* pada *pressure vessel* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 2 Pemeriksaan menggunakan *borescope* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 3 *Fiberscope* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 4 *Videoscope*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 5 *Liquid penetrant inspection* ...**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 6 *Magnetic particle inspection using AC yoke* .. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 7 *Thickness gauge* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 8 *Defect sizing inspection***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 9 TOFD..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 10 *System radiographic inspection*. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 11 *Electromagnetism* . **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 12 *Eddy current system***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 1 Alur pengerjaan tugas akhir...**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 1 Kurva perbandingan *RBI* *date* dan *plan date* ...**Error! Bookmark not defined.**

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisis dalam tugas akhir ini adalah :

1. Besarnya resiko pada *pressure vessel* V110, V120, V130, dan V140 adalah 17.732 ft². Besarnya resiko pada masing-masing *pressure vessel* adalah sama, hal ini dikarenakan data pada masing-masing *pressure vessel* sama.

2. Inspection planning untuk *pressure vessel* V110, V120, V130, dan V140 diestimasikan pada tahun ke-9 setelah dilakukan analisis RBI, yaitu pada tanggal 22 Juni 2025.
3. Umur sisa (*remaining life*) *pressure vessel* V110, V120, V130, dan V140 yaitu 11,1 tahun.
4. Jadwal dan metode inspeksi untuk pengoperasian selama 20 tahun, yaitu :
 - a. Metode inspeksi
Metode inspeksi yang diharapkan dapat diaplikasikan yaitu *UT thickness*.
 - b. Jadwal inspeksi
Jadwal inspeksi berdasarkan analisis RBI ialah pada 22 Juni 2025. Hasil tersebut lebih lama dibandingkan ketentuan SKPP Migas, yaitu setiap 3 tahun sekali. Perbedaan jadwal inspeksi tersebut dapat disebabkan oleh data yang kurang lengkap.
5. Level resiko pada *piping system* 2 inch berada pada tingkat *medium risk* dan merupakan tingkat resiko yang dapat diterima.
6. Level resiko pada *piping system* 4 inch berada pada tingkat *medium high* dan merupakan tingkat resiko yang dapat diterima.

1.2. Saran

1. Data yang digunakan dalam analisis RBI seharusnya data didapatkan pada saat inspeksi terakhir, sehingga hasil analisis diharapkan lebih akurat.
2. Inspeksi pada perusahaan dilakukan oleh pihak PJIT, dan laporan hasil inspeksi dilakukan oleh pihak PJIT. Seharusnya perusahaan memiliki salinan hasil inspeksi, sehingga pada saat dibutuhkan data dapat digunakan sebagai referensi.

3. Pengukuran ketebalan dilakukan pada titik yang berbeda-beda. Seharusnya perusahaan memiliki data posisi ketebalan yang diukur pada saat inspeksi, sehingga pada inspeksi selanjutnya dilakukan pengukuran di titik yang sama.
4. Hasil *inspection planning* lebih lama dibandingkan ketentuan SKPP Migas, sehingga untuk jadwal inspeksi disarankan mengikuti ketentuan SKPP Migas.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tidak dapat dipungkiri bahwa eksplorasi minyak dan gas bumi di dunia semakin mengalami perkembangan. Keadaan ini juga turut mempengaruhi perkembangan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi di Indonesia. Perusahaan minyak dan gas di Indonesia berlomba-lomba untuk mendapatkan ladang minyak dan gas bumi sebanyak-banyaknya. Perkembangan ini turut dipengaruhi oleh aturan-aturan pemerintah mengenai keselamatan dan pencegahan bahaya baik pada unit yang dikelola maupun tenaga kerja pengelola.

Salah satu contoh aturan mengenai pengelolaan minyak bumi adalah Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 11 tahun 1979 mengenai Keselamatan Kerja pada Pemurnian dan Pengolahan Minyak dan Gas Bumi. Bab IV pasal 14 dan pasal 15 dalam aturan ini membahas mengenai penggunaan dan program inspeksi yang harus dilakukan guna mencegah kemungkinan bahaya-bahaya yang dapat terjadi selama proses pengelolaan minyak bumi. Untuk itu semua peralatan-peralatan (unit kerja) harus dijamin kehandalaannya agar tidak menimbulkan bahaya baik bagi pekerja maupun lingkungan.

Aturan mengenai keselamatan bagi tenaga kerja pengelola usaha minyak dan gas bumi diatur dalam Undang-undang nomor 1 tahun 1970. Aturan tersebut menyatakan bahwa pekerja berhak mendapatkan perlindungan atas keselamatan dalam melakukan kerja. Dengan adanya kondisi ini, badan usaha (perusahaan) minyak dan gas dituntut agar lebih handal supaya dapat meningkatkan hasil produksinya sehingga mampu bersaing dengan badan usaha lainnya.

Salah satu alat penunjang dalam eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi ialah *pressure vessel*. Menurut API RP 510 (2006), *pressure vessel* didefinisikan sebagai bejana/wadah yang didesain untuk dapat menahan tekanan baik internal maupun eksternal. Selain itu, bejana tekan merupakan wadah tertutup yang dirancang untuk menampung cairan atau gas pada temperatur yang berbeda dari temperatur lingkungan. Bejana

tekan digunakan untuk bermacam-macam aplikasi di berbagai sektor industri seperti industri kimia (*petrochemical plant*), energi (*power plant*), minyak dan gas (*oil & gas*), nuklir, makanan, bahkan sampai pada peralatan rumah tangga seperti boiler pemanas air atau *pressure cooker*.

Secara sederhana *pressure vessel* dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *pressure vessel* tipe vertikal dan horisontal. Pembagian pada jenis-jenis *pressure vessel* selain didasarkan pada posisinya juga didasarkan pada jenis *support* dan proses yang akan dilakukan pada *pressure vessel*. *Pressure vessel* tipe vertikal umumnya digunakan untuk pemisah (*separator*) yang menggunakan prinsip gaya gravitasi. *Pressure vessel* tipe ini biasanya diaplikasikan pada fluida gas. Sedangkan *pressure vessel* tipe horisontal umumnya diaplikasikan pada fluida cair (minyak). (Havard, 2001)

Pada aplikasi disektor minyak dan gas (*oil & gas*), *pressure vessel* diklasifikasikan berdasarkan fungsinya yaitu *storage*, *heat exchanger*, *separator*, *deareator*, *absorber*, *desilator*, *stripper*, dan *reactor*. Terutama pada sektor minyak dan gas, dari *well*, membutuhkan *separator*, K.O drum, *fuel gas scrubber*, *liquid tank*, dan *condensate tank*. (www.idpipe.com).



Gambar 1. 1*Pressure vessel* tipe horisontal
Sumber : www.g3engg.com



Gambar 1. 2 *Pressure vessel* tipe vertikal
Sumber : www.img.tradeindia.com

Salah satu badan usaha yang mengelola minyak dan gas bumi ialah Terminal LPG Semarang. Terminal LPG Semarang memiliki beberapa unit *pressure vessel* jenis *storage tank*. Setiap *pressure vessel* memiliki umur produksi yang sangat bergantung pada jenis dan penggunaan *pressure vessel* itu sendiri. Apabila terus dilakukan pengoperasian melebihi umur yang seharusnya, dikhawatirkan dapat mengakibatkan bahaya-bahaya yang tidak diinginkan.

Pressure vessel tersebut mempunyai dampak yang berbahaya apabila fluida yang ada di dalamnya keluar. Dampak tersebut dapat menyebabkan kebakaran, keracunan, dan pencemaran lingkungan. Padahal dari penjabaran diatas, banyak aturan-aturan pemerintah mengenai keselamatan dan pencegahan bahaya baik pada unit yang dikelola maupun tenaga kerja pengelola.

Kemungkinan bahaya yang dapat menyebabkan kerusakan pada *pressure vessel* perlu dianalisis agar dapat meminimalkan resiko yang akan terjadi. Identifikasi bahaya tersebut harus dapat mewakili semua potensi bahaya yang berpengaruh terhadap kinerja *pressure vessel*. Sehingga, setelah diperhitungkan analisis resiko dan langkah mitigasinya, perlu di pertimbangkan pula jadwal inspeksi dan jadwal penggantian *pressure vessel* tersebut.

Hal ini dilakukan agar kinerja *pressure vessel* dapat maksimal sehingga akan didapatkan hasil produksi yang sebaik-baiknya.

Badan Usaha yang dalam hal ini ialah Terminal LPG Semarang seharusnya memiliki suatu metode pencegahan terhadap kemungkinan terjadinya kecelakaan dengan menjaga kualitas *pressure vessel* tersebut.

Risk Based Inspection (RBI) adalah sebuah pendekatan sistematis tentang metode pengelolaan inspeksi terhadap peralatan atau unit kerja yang didasarkan pada tingkat resiko yang dimiliki oleh peralatan atau unit kerja tersebut. Oleh karena itu, secara umum metode RBI dapat diaplikasikan ke semua jenis industri dan sangat bergantung pada kondisi aktual dari peralatan industri yang di analisis.

RBI diharapkan dapat memberikan analisis *damage mechanism* secara terpusat sehingga dapat diketahui akibat lebih lanjut yang harus diwaspadai dan dicegah, serta memberikan gagasan inspeksi yang lebih efektif dan efisien. RBI memungkinkan untuk merevisi jadwal dan interval inspeksi sehingga lebih efisien sesuai dengan kebutuhan dan tentunya hal ini akan lebih menghemat biaya yang harus dikeluarkan untuk inspeksi (Zaidun, 2010).

1.2 Perumusan dan Pembatasan Masalah

Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan level resiko pada peralatan *pressure vessel* dengan menggunakan metode *risk based inspection*?
2. Bagaimana menentukan *inspection planning* yang sesuai dengan kondisi tingkat *pressure vessel* tersebut?
3. Bagaimana menentukan *remaining life* berdasarkan level resiko pada *pressure vessel*?
4. Bagaimana jadwal dan metode inspeksi yang akan dilakukan selama 20 tahun ke depan?

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. *Pressure vessel* yang akan dilakukan penelitian adalah milik Terminal LPG Semarang, Jawa Tengah.
2. Pemeriksaan berbasis keandalan *pressure vessel* ini berpedoman pada *code* API RBI 581.
3. Kejadian alam tidak dipertimbangkan.

1.3 Tujuan

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Menentukan level resiko *pressure vessel* dengan menggunakan metode *risk based inspection*.
2. Menentukan jenis dan interval waktu inspeksi *pressure vessel* dengan menggunakan metode *risk based inspection*.
3. Menentukan *remaining life* berdasarkan level resiko *pressure vessel*.
4. Mengetahui jadwal dan metode inspeksi yang akan dilakukan selama 20 tahun ke depan.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan dalam menentukan prioritas pelaksanaan inspeksi sebagai usaha preventif untuk meminimalkan dampak kegagalan.
2. Memperkenalkan RBI sebagai metode pengelolaan inspeksi berdasarkan analisis tingkat resiko dari *pressure vessel*
3. Meningkatkan tingkat keselamatan bagi para pekerja maupun lingkungan.
4. Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk mengambil keputusan dalam melaksanakan program inspeksi dan pembiayaan inspeksi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

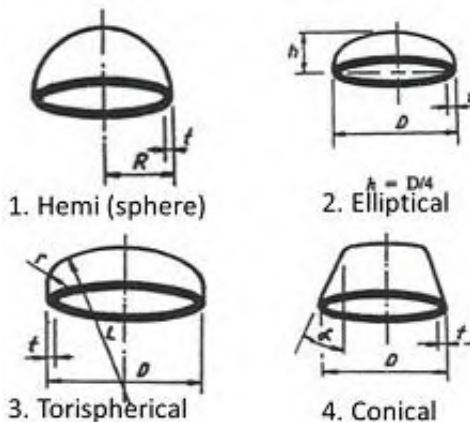
2.1 Teori Penunjang

2.1.1 *Pressure Vessel*

Pressure vessel didefinisikan sebagai bejana/wadah yang didesain untuk dapat menahan tekanan baik internal maupun eksternal (API RP 581, 2006). Menurut *Indonesian Piping Knowledge*, komponen-komponen utama dari *pressure vessel* meliputi :

a. *Head*

Head (kepala) merupakan bagian penutup dari *vessel*. *Head* berada di bagian kanan dan kiri untuk *vessel* horisontal, atau di bagian atas dan bawah untuk *vessel* vertikal. *Head* dapat dibedakan berdasarkan bentuknya seperti *torispherical*, *shpere*, *elipsnoidal*, *cone* atau bahkan *flange*. Tipe *pressure vessel* yang dimiliki oleh TLS ialah *spherical tank*, sehingga bentuk *head* dan *shell* adalah bola (*sphere*).



Gambar 2. 1 Tipe-tipe *head* pada *pressure vessel*

Sumber :<http://3.bp.blogspot.com>

b. Shell

Shell merupakan bagian tubuh *pressure vessel* yang umumnya berbentuk silinder. *Shell* merupakan plat lembaran yang kemudian di bentuk (di *roll*) sampai menjadi silindris. Tidak semua *shell* dibentuk melalui proses *roll*, *shell* juga dapat dibentuk melalui proses *forging*. Bentuk lain dari *shell* dapat berupa bola maupun kerucut.

c. Nozzle

Pressure vessel merupakan unit penyimpanan fluida, sedangkan pipa merupakan jalan dari fluida yang dikelola, untuk itu dibutuhkan suatu *nozzle* sebagai penghubung antara keduanya. *Nozzle* pada dasarnya adalah saluran, dimana saluran tersebut menggunakan penyambung jenis *flange*. *Flange* adalah mekanisme penyambungan antara komponen satu dengan yang lain.

d. Support

Support adalah penyangga suatu *vessel* agar dapat berdiri. Jenis *support* yang digunakan tergantung pada ukuran dan jenis *vessel* itu sendiri. Penyangga untuk *vessel* vertikal berupa *skirt* dan *leg*, namun ada juga yang menggunakan *lug*. Sedangkan untuk *vessel* horisontal digunakan *saddle* sebagai penyangga.

2.1.2 *Liqufied Petroleum Gasses (LPG)*

Liqufied Petroleum Gasses (LPG) merupakan bahan bakar berupa gas yang dicairkan. LPG merupakan produk minyak bumi yang diperoleh dari proses distilasi bertekanan tinggi. Komponen utama LPG terdiri dari hidrokarbon ringan berupa Propana (C_3H_8) dan Butana (C_4H_{10}), serta sejumlah kecil Etana (C_2H_6) dan Pentana (C_5H_{12}). (Wikipedia, 2005)

LPG banyak digunakan sebagai bahan bakar untuk rumah tangga. Pemakaian LPG sebagai bahan bakar untuk rumah tangga semakin meningkat dari tahun ketahun karena LPG termasuk bahan bakar yang ramah lingkungan. LPG sebagai bahan bakar untuk keperluan rumah tangga, harus memenuhi beberapa

persyaratan khusus dengan tujuan agar aman dipakai dalam arti tidak membahayakan bagi si pemakai dan tidak merusak peralatan yang digunakan serta efisien dalam pemakaiannya.

LPG akan berbentuk gas dalam kondisi *atmosfer*. Volum LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu LPG dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung LPG tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya.

Untuk mendeteksi terjadinya kebocoran LPG, maka LPG sebelum dipasarkan terlebih dahulu ditambahkan zat pembau (*odor*) sehingga apabila terjadi kebocoran segera dapat diketahui. Pembau yang ditambahkan harus melarut sempurna dalam LPG, tidak boleh mengendap. Untuk itu biasanya digunakan *etil mercaptant* (C_2H_5SH) atau *butil mercaptant* (C_4H_9SH). (liqfiedpetroleumgas.blogspot.com)

Menurut spesifikasinya, LPG dibagi menjadi :

a. *LPG Mix*

Adalah campuran propana dan butana dengan komposisi antara 70- 80% dan 20-30% volum dan diberi *odorant* (*mercaptant*) dan umumnya digunakan untuk bahan bakar rumah tangga.

b. *LPG propana dan LPG butana*

Adalah LPG yang masing-masing mengandung propana 95% dan butana 97,5% volum dan diberi *odorant* (*mercaptant*), umumnya digunakan untuk keperluan industri.

Sifat-sifat LPG adalah sebagai berikut:

- a. Dalam bentuk cairan dan gas sangat mudah terbakar
- b. Gas tidak beracun, tidak berwarna dan biasanya berbau menyengat
- c. Gas dikirimkan sebagai cairan yang bertekanan di dalam tangki atau silinder.
- d. Cairan dapat menguap jika dilepas dan menyebar dengan cepat.

- e. Gas ini lebih berat dibanding udara sehingga akan banyak menempati daerah yang rendah.

2.1.3 Risk Based Inspection (RBI)

Risk Based Inspection (RBI) merupakan penilaian *engineering* secara kualitatif yang dilakukan untuk menunjukkan integritas struktural suatu komponen yang sedang bekerja yang mengandung cacat atau kerusakan. RBI studi sangat penting untuk digunakan dalam menentukan penyebab kerusakan atau penurunan integritas dari komponen yang diamati atau diantisipasi, dan kemungkinan kerusakan yang mungkin terjadi di masa depan (API RP 571, 2003).

Prosentase tingkat resiko di sebuah unit operasi yang tinggi terdapat pada sejumlah peralatan atau lingkup yang kecil. RBI dalam hal ini akan memberikan perhatian yang lebih melalui kegiatan inspeksi yang dilakukan, sehingga diharapkan dapat mereduksi program inspeksi yang berlebihan pada peralatan/unit kerja yang memiliki tingkat resiko yang lebih rendah. Manfaat program RBI adalah pemusatan sumber daya inspeksi pada mekanisme kerusakan waktu operasi dan lama proses alat atau sedikitnya pemeliharaan tingkat resiko yang sama. (Anderson, 2001)

Sebuah perusahaan akan dapat mengontrol prioritas dan frekuensi program inspeksi yang akan dilakukannya sehingga berdampak pada meningkatnya waktu operasi atau dengan kata lain dapat mengurangi waktu tidak pakai dari sebuah peralatan/unit kerja. Metode RBI hanya salah satu metode pendekatan dari beberapa metode pengelolaan inspeksi berbasis tingkat resiko yang ada. (Anderson, 2001)

Metode RBI mendefinisikan tingkat resiko peralatan yang dianalisis sebagai kombinasi dari dua parameter yaitu peluang kegagalan dan konsekuensi kegagalan. Analisis peluang kegagalan berhubungan dengan besar kecilnya peluang sebuah peralatan mengalami kegagalan. Sedangkan analisis konsekuensi kegagalan berhubungan dengan dampak yang dihasilkan dari kejadian kegagalan.

2.1.4 Resiko

Resiko merupakan kemungkinan terjadinya sesuatu yang akan berdampak kepada hal-hal yang tidak diinginkan. Dampak yang paling dihindari diantaranya hal-hal yang kemungkinan akan membahayakan kesehatan dan keselamatan manusia serta lingkungan sebagai akibat dari teknologi yang berkembang saat ini. Resiko didefinisikan sebagai kombinasi antara *probability of failure* (PoF) dan *consequence of failure* (CoF). Menurut API RP 580, resiko dapat dihitung dengan rumusan 2.1 berikut ini :

$$Risk = Probability \times Consequence \quad (2.1)$$

a. *Probability of Failure*

Probabilitas kegagalan (pof) berdasarkan API RP 581 dihitung dengan menggunakan rumusan 2.2 di bawah ini :

$$Pof(t) = gff \times d_f(t) \times F_{MS} \quad (2.2)$$

dimana

gff = *generic failure factor*

$d_f(t)$ = *damage factor*

F_{MS} = *management system factor*

Faktor-faktor penyesuaian pada frekuensi generik kegagalan mencerminkan perbedaan antara mekanisme kerusakan dan proses manajemen kehandalan dalam peralatan. Faktor kerusakan menyesuaikan frekuensi kegagalan generik berdasarkan mekanisme kerusakan komponen aktif yang bergantung dan mempertimbangkan kerentanan terhadap mekanisme kerusakan dan/atau tingkat di mana kerusakan terakumulasi.

Faktor kerusakan juga mempertimbangkan data historis inspeksi dan efektivitas dari inspeksi sebelumnya dan yang akan datang. Faktor sistem manajemen, menyesuaikan dengan pengaruh sistem manajemen fasilitas pada integritas mekanik peralatan. Faktor kerusakan diterapkan pada komponen dan mekanisme kerusakan secara khusus, sedangkan faktor sistem manajemen diterapkan untuk semua komponen dalam peralatan.

1. *Generic failure frequency*

Frekuensi kegagalan generik dari suatu peralatan diestimasikan menggunakan catatan dari semua *plant* dalam suatu perusahaan atau dari berbagai *plant* dalam sebuah industri, dari sumber-sumber literatur, dan dari *reliability data base* komersial. Oleh karena itu, nilai-nilai frekuensi kegagalan generik biasanya mewakili sebuah industri pada umumnya dan tidak mencerminkan frekuensi kegagalan yang tepat untuk sebuah peralatan spesifik untuk mekanisme kerusakan yang spesifik.

Daftar rekomendasi dari faktor kegagalan generik diberikan pada Tabel A.1 [1 sampai 8] lampiran A. Frekuensi kegagalan generik diasumsikan mengikuti distribusi log-normal, dengan tingkat kesalahan berkisar antara 3% sampai 10%.

Frekuensi kegagalan generik keseluruhan untuk setiap jenis komponen dibagi seluruh ukuran lubang yang relevan, yaitu jumlah dari frekuensi kegagalan generik untuk setiap ukuran lubang adalah sama dengan total frekuensi kegagalan generik untuk komponen.

2. *Damage factor*

Faktor kerusakan dimaksudkan untuk mendukung metodologi API RBI dengan menyediakan *screening tool* untuk menentukan prioritas inspeksi dan untuk mengoptimalkan upaya inspeksi. Faktor kerusakan tidak memberikan *Fitness-for-Service* penilaian definitif komponen. Fungsi dasar dari faktor kerusakan adalah untuk mengevaluasi jumlah kerusakan yang mungkin sebagai fungsi waktu dan efektivitas kegiatan inspeksi. Faktor-faktor kerusakan dihitung berdasarkan teknik yang dijelaskan dalam paragraf 4.2 API 582, tetapi tidak dimaksudkan untuk mencerminkan probabilitas kegagalan yang sebenarnya untuk keperluan analisis keandalan. Faktor kerusakan mencerminkan tingkat relatif perhatian tentang komponen berdasarkan asumsi yang dinyatakan dalam setiap paragraf yang berlaku pada API 581.

Faktor kerusakan ditentukan sebagai fungsi dari efektivitas inspeksi. Lima kategori efektivitas pemeriksaan yang digunakan dalam API RBI ditunjukkan pada Tabel A.7 lampiran A dan Tabel A.10 lampiran A.. Kategori efektivitas inspeksi disajikan dimaksudkan untuk menjadi contoh dan memberikan pedoman untuk menetapkan efektivitas inspeksi yang sebenarnya. Efektivitas teknik inspeksi sebenarnya tergantung pada banyak faktor seperti keterampilan dan pelatihan inspektur, dan tingkat keahlian yang digunakan dalam memilih lokasi pemeriksaan. Efektivitas aktual dari teknik inspeksi yang diberikan tergantung pada karakteristik dari mekanisme kerusakan.

Estimasi *damage factor* biasanya disediakan untuk estimasi kerusakan dibawah ini :

- a. *Thinning* - d_f^{thin}
- b. *Component Linings* - d_f^{elin}
- c. *External Damage* - d_f^{extd}
- d. *Stress Corrosion Cracking* - d_f^{SCC}
- e. *High Temperature Hydrogen Attack* - d_f^{htha}
- f. *Mechanical Fatigue (Piping Only)* - d_f^{mfat}
- g. *Brittle Fracture* - d_f^{brit}

Damage factor dihitung berdasarkan jenis *damage mechanism* yang paling berpengaruh. Apabila terdapat *damage mechanism* lebih dari 1, maka *damage factor* dihitung dengan rumusan *damage factor* untuk *multiple damage mechanism* seperti dibawah ini :

- a. Total *damage factor*, $D_{f-total}$ – apabila lebih dari satu *damage mechanism*, rumusan dibawah ini digunakan untuk mengkombinasikan *damage factors*. Rumusan 2.3 dibawah ini digunakan untuk menghitung total *damage factor* apabila *local thinning* :

$$D_{f-total} = \max [d_{f-gov}^{thin}, d_{f-gov}^{extd}] + d_{f-gov}^{SCC} + d_{f-gov}^{htha} + d_{f-gov}^{brit} + d_{f-gov}^{mfat} \quad (2.3)$$

Namun apabila *general thinning*, maka dihitung dengan rumusan 2.4 dibawah ini :

$$D_{f-total} = d_f^{thin} + d_f^{extd} + d_{f-gov}^{SCC} + d_{f-gov}^{htha} + d_{f-gov}^{brit} + d_{f-gov}^{mfat} \quad (2.4)$$

b. *Governing Thinning Damage Factor*, d_{f-gov}^{thin} - *governing thinning damage factor* ditentukan berdasarkan keberadaan perlindungan internal, dengan kriteria :

- Apabila ada perlindungan internal, maka *governing thinning damage factor* dihitung menggunakan persamaan 2.5 berikut :

$$d_{f-gov}^{thin} = \min[d_f^{thin}, d_f^{elin}] \quad (2.5)$$

- Apabila tidak ada perlindungan internal, maka *governing thinning damage factor* dihitung menggunakan persamaan 2.6 berikut :

$$d_{f-gov}^{thin} = d_f^{thin} \quad (2.6)$$

c. *Governing Stress Corrosion Cracking Damage Factor*, d_{f-gov}^{SCC} , *governing stress corrosion cracking damage factor* dihitung dengan rumusan 2.7 berikut:

$$d_{f-gov}^{SCC} = \max [d_f^{caustic}, d_f^{amine}, d_f^{SCC}, d_f^{\frac{HIC}{SOHIC}-H2S}, d_f^{carbonate}, d_f^{PTHA}, d_f^{CLSCC}, d_f^{HSC-HF}, d_f^{\frac{HIC}{SOHIC}-HF}] \quad (2.7)$$

d. *Governing External Damage Factor*, d_{f-gov}^{extd} , *governing external damage factor* dihitung dengan rumusan 2.8 ini :

$$d_{f-gov}^{extd} = \max[d_f^{extd}, d_f^{CUIF}, d_{f-gov}^{extd-CLSCC}, d_{f-gov}^{CUI-CLSCC}] \quad (2.8)$$

e. *Governing Brittle Fracture Damage Factor*, d_{f-gov}^{brit} - *governing brittle fracture damage factor* dihitung dengan rumusan 2.9 ini :

$$d_{f-gov}^{brit} = \max[(d_f^{britfract} + d_f^{tempe}), d_f^{885}, d_f^{sigma}] \quad (2.9)$$

2.1. Perhitungan probabilitas tangki : *Thinning damage factor*

2.1.1. Menentukan angka inspeksi dan kategori efektivitas inspeksi yang sesuai dengan menggunakan paragraf 5.5.2 API 581 untuk semua inspeksi yang telah dilakukan.

2.1.2. Menentukan umur inspeksi sejak inspeksi terakhir. Umur inspeksi dapat didefinisikan sebagai selisih waktu antara inspeksi sebelumnya dengan inspeksi terakhir. Umur inspeksi dapat dihitung dengan rumusan 2.10 dibawah ini :

$$age = current\ inspection - previous\ inspection (2.10)$$

2.1.3. Menentukan laju korosi untuk *base metal* ($C_{r,bm}$) Laju korosi didapatkan dengan 3 cara yaitu :

- Menanyakan kepada perusahaan
- Mengukur nilai laju korosi pada saat dilakukan inspeksi
- Menghitung nilai laju korosi sesuai dengan aturan Annex 2B API 581.

Laju korosi dipengaruhi oleh suhu penyimpanan, tekanan penyimpanan, fluida yang disimpan, dan material penyusun *pressure vessel*. Annex 2B API 581 memberikan 13 kriteria penyebab laju korosi. Penentuan laju korosi dilakukan dengan cara melakukan *screening* pada masing-masing kriteria. Tipe laju korosi pada analisis tugas akhir ini ialah CO_2 corrosion. Laju korosi untuk CO_2 corrosion dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11 berikut ini :

$$CR_{base} = f(T, pH) \times f_{CO_2}^{0.62} \times \left(\frac{S}{19}\right)^{0.146+0.0324 \cdot f_{CO_2}} \quad (2.11)$$

Dimana :

CR_{base} : corrosion rate (mm/years)

$f(T, pH)$: nilai dari *temperature-pH*

$f_{CO_2}^{0.62}$: fugacity CO_2 (bar)

S : shear stress (Pa)

2.1.4. Menentukan minimum *required wall thickness* (t_m)

Minimum *required wall thickness* dihitung dengan menggunakan *design code* yang digunakan yaitu ASME VIII div 2. Rumusan minimum *wall thickness* ialah :

$$t_{\min} = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad (2.12)$$

dimana :

t_{\min} : ketebalan minimum (mm)

P : tekanan (MPa)

R : *radius* (mm)

S : *maximum allowable stress* (MPa)

E : *joint effectiveness*

2.1.5. Perhitungan umur untuk peralatan yang memiliki *cladding*

Umur peralatan dengan perlindungan berupa *cladding* dihitung dengan rumusan 2.13 berikut ini:

$$age_{rc} = \max \left[\left(\frac{t_{rd} - t}{C_{r,cm}} \right), 0, 0 \right] \quad (2.13)$$

2.1.6. Menentukan A_{rt} (parameter *damage factor*)

Parameter *damage factor* (A_{rt}) dapat dihitung dengan persamaan 2.14 dibawah ini :

$$A_{rt} = \max \left[\left(1 - \frac{t_{rd} - (C_{r,bm} \times age)}{t_{\min} + CA} \right) \right] \quad (2.14)$$

2.1.7. Menentukan *base damage factor for thinning* (D_{fb}^{thin})

Base damage factor dapat ditentukan dari Tabel A.8 lampiran A. Penentuan nilai tersebut berdasarkan angka inspeksi dan kategori efektifitas inspeksi yang telah ditentukan sebelumnya.

2.1.8. Menentukan nilai *damage factor for thinning* (D_f^{thin})

Nilai *damage factor for thinning* dihitung dengan rumusan 2.15 dibawah ini :

$$D_{fthin} = \frac{D_{fb}^{thin} \times F_{IP} \times F_{DL} \times F_{WD} \times F_{AM} \times F_{SM}}{F_{OM}} \quad (2.15)$$

Penjelasan untuk masing-masing factor tambahan ialah sebagai berikut :

a. *Damage factor On-line Monitoring* (F_{OM})

Metode *on-line monitoring* yang umumnya digunakan ialah *key process variable*, *electrical resistance probes*, dan *corrosion coupons*. Apabila tidak dilakukan *on-line monitoring* maka nilai $F_{OM} = 1$.

b. *Injection/Mix Points* (F_{IP})

Faktor tambahan injeksi atau titik campuran didefinisikan sebagai titik campuran dimana senyawa kimia ditambahkan ke dalam fluida yang diproses. Apabila saluran pipa memiliki injeksi atau titik campuran maka nilai $F_{IP} = 3$. Namun apabila tidak, maka nilai $F_{IP} = 1$.

c. *Dead legs* (F_{DL})

Dead legs didefinisikan sebagai bagian dari pipa atau saluran pipa yang hanya digunakan pada kondisi tertentu misalnya pada saat *start-ups*, *shut-downs*, atau *regeneration cycles* dari keseluruhan proses. Pipa yang tidak memiliki aliran yang signifikan termasuk ke dalam *deadlegs*. Apabila saluran pipa memiliki *deadlegs* maka $F_{DL} = 3$. Jika metode inspeksi yang dimiliki adalah *highly effective inspection* atau tidak memiliki *deadlegs* maka $F_{DL} = 1$.

d. *Welded construction* (F_{WD})

Hanya berlaku untuk *atmospheric storage tank*.

Apabila peralatan dilas (tidak dipaku) maka nilai $F_{WD} = 1$. Namun apabila peralatan tidak dilas maka nilai $F_{WD} = 10$.

e. *Maintenance in accordance with API 653* (F_{AM})

Hanya berlaku untuk *atmospheric storage tanks*.

Apabila tangki dirawat dengan menggunakan standart API 653 maka nilai $F_{AM} = 1$. Namun jika tidak maka nilai $F_{AM} = 5$.

f. *Settlement* (F_{SM})

Hanya berlaku untuk *atmospheric storage tank bottoms*.

Nilai F_{SM} ditentukan berdasarkan criteria dibawah ini:

- *Recorded settlement exceeds* API 653 criteria $F_{SM}=2$.
- *Recorded settlement meets* API 653 criteria $F_{SM}=1$
- *Settlement never evaluated* $F_{SM}=1.5$
- *Concrete foundation, no settlement* $F_{SM}=1$

2.2. Perhitungan probabilitas tangki :*External damage factor*

2.2.1. Menentukan angka inspeksi dan kategori efektifitas inspeksi yang sesuai dengan menggunakan paragraf 5.5.2 API 581 untuk semua inspeksi yang telah dilakukan.

2.2.2. Menentukan umur inspeksi sejak inspeksi terakhir.
Umur inspeksi dapat didefinisikan sebagai selisih waktu antara inspeksi sebelumnya dengan inspeksi terakhir. Umur inspeksi dapat dihitung dengan rumusan 2.16 dibawah ini :

$$age = current\ inspection - previous\ inspection(2.16)$$

2.2.3. Menentukan *time-in service*, age_{coat}

Umur *coating* dihitung dengan menggunakan persamaan 2.17 dibawah ini :

$$age_{coat} = \max[0, (coatinginst. date - date)] \quad (2.17)$$

2.2.4. Menentukan *time-in service*, age

Usia inspeksi diambil dari nilai usia waktu inspeksi dan usia pelapisan (*coating*) dipilih mana yang paling kecil. Usia inspeksi ditentukan menggunakan persamaan 2.17 di bawah ini :

$$age = \min [age_{ik}, age_{coat}] \quad (2.17)$$

2.2.5. Menentukan laju korosi dasar (C_{rB})

Laju korosi dasar (C_{rB}) dipengaruhi oleh *the driver* dan suhu operasi. *The driver* didefinisikan sebagai kondisi atmosfer lingkungan yang dapat menyebabkan laju korosi. *Pressure vessel* yang dianalisis berada di sekitar laut, sehingga *the driver* termasuk ke dalam kategori *marine/cooling tower drift area*. Suhu operasinya berada pada 35°C atau sekitar 32°C. sehingga nilai laju korosinya:

$$C_{rB} = 0.127\text{ mm/years}$$

$$= 0.005 \text{ inch/years} \quad (2.18)$$

2.2.6. Menentukan laju korosi akhir (Cr)

Nilai laju korosi akhir dihitung dengan menggunakan rumusan 2.19 berikut ini :

$$Cr = C_{rB} \times \max [F_{PS}, F_{IP}] \quad (2.19)$$

Nilai faktor tambahan didapatkan dengan ketentuan dibawah ini :

a. Nilai untuk *pipe supports*, F_{PS}

Apabila pipa didukung oleh penyangga secara langsung atau oleh konfigurasi lain yang perawatan *coating* tidak sesuai, maka $F_{PS} = 2$; jika tidak $F_{PS} = 1$.

b. Nilai untuk *interface*, F_{IP}

Apabila pipa memiliki sebuah penghubung yang masuk ke dalam tanah atau air, maka $F_{IP} = 2$; jika tidak $F_{IP} = 1$.

2.2.7. Menentukan *minimum required wall thickness* (t_{min})

Minimum required wall thickness dihitung dengan menggunakan *design code* yang digunakan dalam mendesain *pressure vessel*. Dalam analisis ini akan digunakan ASME Section VIII Div II, dengan rumusan *minimum required wall thickness* :

$$t_{min} = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad (2.20)$$

2.2.8. Menentukan factor kerusakan (Art)

Parameter factor kerusakan dihitung dengan menggunakan rumusan 2.21 di bawah ini :

$$A_{rt} = \max \left[1 - \left(\frac{t_{rd} - C_{r,bm} \times age}{t_{min} + CA} \right) \right], 0.0 \quad (2.21)$$

2.2.9. Menentukan nilai *damage factor* (d_f^{extd})

Nilai *base damage factor* ditentukan dari nilai Art, kategori efektifitas inspeksi, dan angka inspeksi. Besarnya base damage factor dapat dilihat pada lampiran B Tabel A.8.

2.2.10. Menghitung nilai total *damage factor*

Nilai *damage factor* total didapatkan dengan menjumlahkan nilai *thinning damage factor* dan *external damage factor*, sehingga :

$$d_{f\text{-total}} = d_f^{\text{thin}} + d_f^{\text{extd}} \quad (2.22)$$

2.3. Perhitungan probabilitas pipa : *piping mechanical fatigue damage factor*

2.3.1. Menentukan angka kegagalan sistem perpipaan yang pernah terjadi dan menentukan *base damage factor* untuk *piping failure* berdasarkan kriteria di bawah ini :

- a. *None* - $d_{fb}^{PF} = 1$
- b. *One* - $d_{fb}^{PF} = 50$
- c. *Greater than one* - $d_{fb}^{PF} = 500$

2.3.2. Menentukan banyaknya getaran atau suara yang terlihat/terdengar yang terjadi pada pipa, dan menentukan *base damage factor* untuk *audible shaking* berdasarkan kriteria berikut ini :

- *Minor* - $d_{fb}^{AS} = 1$
- *Moderate* - $d_{fb}^{AS} = 50$
- *Severe* - $d_{fb}^{AS} = 500$

2.3.3. Menentukan *adjustment factor* untuk getaran yang terlihat atau terdengar, berdasarkan kriteria berikut ini:

- a. *Shaking less than 2 weeks* - $F_{fb}^{AS} = 1$
- b. *Shaking between 2 and 13 weeks* - $F_{fb}^{AS} = 50$
- c. *Shaking between 13 and 52 weeks* - $F_{fb}^{AS} = 500$

2.3.4. Menentukan tipe *cyclic loading* yang terhubung secara langsung dan tidak langsung pada jarak kurang dari 15.24 meter (50 ft) pada pipa, dan menentukan *base damage factor* untuk *cycling loading* berdasarkan kriteria :

- a. *Reciprocating machinery* - $d_{fb}^{CF} = 50$
- b. *PRV Chatter* - $d_{fb}^{CF} = 25$
- c. *Valve with high pressure drop* - $d_{fb}^{CF} = 10$
- d. *None* - $d_{fb}^{CF} = 1$

2.3.5. Menentukan *base damage factor* menggunakan persamaan 2.23 berikut ini :

$$D_{fb}^{mfat} = \max[d_{fb}^{PF}, (d_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), d_{fb}^{CF}] \quad (2.23)$$

2.3.6. Menentukan nilai *damage factor* akhir menggunakan persamaan 2.24 berikut ini :

$$D_f^{mfat} = D_{fb}^{mfat} \times F_{CA} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{JB} \times F_{BD} \quad (2.24)$$

Berikut merupakan penjelasan masing-masing *adjustment factor* di atas :

a. *Adjustment for Corrective Action, F_{CA}*

Nilai *adjustment for corrective maintenance* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :

- *Modification based on complete engineering analysis, $F_{CA} = 0.002$*
- *Modification based on experience, $F_{CA} = 0.2$*
- *No Modification, $F_{CA} = 2$*

b. *Adjustment for Pipe Complexity, F_{PC}*

Nilai *adjustment for pipe complexity* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :

- *0 – 5 total pipe fittings, $F_{PC} = 0.5$*
- *6 – 10 total pipe fittings, $F_{PC} = 1$*
- *Greater than 10 total pipe fittings, $F_{PC} = 2$*

c. *Adjustment for Condition of Pipe, F_{CP}*

Nilai *adjustment for condition of pipe* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :

- *Missing or damaged support, improper support, $F_{CP} = 2$*
- *Broken gussets, gussets welded directly to the pipe, $F_{CP} = 2$*
- *Good condition, $F_{CP} = 1$*

d. *Adjustment for Joint Type or Branch Design, F_{JB}*

Nilai *adjustment for joint type or branch design* diambil berdasarkan kriteria dibawah ini :

- *Threaded, socketweld, saddle on, $F_{JB} = 2$*
- *Saddle in fittings, $F_{JB} = 1$*
- *Piping tee, weldolets, $F_{JB} = 0.2$*

- *Sweepolets*, $F_{JB} = 0.02$
- e. *Adjustment for Branch Diameter*, F_{BD}
 Nilai *adjustment for branch diameter* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :
 - *All branches less than or equal to 2 NPS*,
 $F_{BD} = 1$
 - *Any branch greater than 2 NPS*, $F_{BD} = 0.02$

3. *Management system factor*

Efektivitas sistem manajemen keselamatan proses perusahaan dapat memiliki efek yang berat pada integritas mekanik. Prosedur API RBI termasuk alat evaluasi untuk menilai bagian dari sistem manajemen fasilitas yang paling berdampak langsung terhadap probabilitas kegagalan komponen. Evaluasi ini terdiri dari serangkaian wawancara dengan manajemen pabrik, operasi, inspeksi, pemeliharaan, teknik, pelatihan, dan personil keamanan. Pentingnya evaluasi sistem manajemen yang efektif telah lama diakui dalam mencegah rilis bahan berbahaya dan menjaga integritas mekanik peralatan proses. Sesuai dengan standar PSM menjadi aturan wajib di Amerika Serikat pada tahun 1992 dengan mengeluarkan OSHA 29 CFR 1.910,119.

Prosedur API RBI menggunakan faktor sistem manajemen untuk menyesuaikan frekuensi kegagalan generik untuk sistem manajemen keselamatan proses yang berbeda. Faktor ini berasal dari hasil evaluasi pada fasilitas atau sistem operasi unit manajemen yang mempengaruhi resiko plant. Praktek yang berbeda dalam unit di fasilitas dapat membuat perbedaan dalam faktor sistem manajemen antara unit. Namun, dalam salah satu penelitian, faktor sistem manajemen harus sama. Faktor yang diterapkan sama untuk semua komponen dan, sebagai hasilnya, tidak mengubah urutan peringkat berbasis resiko dari komponen. Faktor sistem manajemen, bagaimanapun, bisa memiliki efek yang berat pada tingkat total resiko yang dihitung untuk setiap item dan untuk risiko yang dijumlahkan dalam

penelitian. Hal ini menjadi penting ketika tingkat resiko seluruh unit dibandingkan, atau ketika nilai resiko untuk komponen yang sama dibandingkan antara unit yang berbeda atau *plant sites*.

Prosedur evaluasi sistem manajemen yang dikembangkan untuk API RBI mencakup semua bidang sistem PSM *plant* yang berdampak secara langsung atau tidak langsung pada integritas mekanik peralatan proses. Evaluasi sistem manajemen didasarkan sebagian besar pada persyaratan yang terkandung dalam API. Hal ini juga mencakup teknik lainnya dalam manajemen keselamatan yang efektif.

b. Consequence of Failure

Konsekuensi kegagalan didefinisikan sebagai akibat yang akan terjadi apabila peralatan mengalami kegagalan. Konsekuensi kegagalan dapat ditunjukkan baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Kategori konsekuensi dibedakan menjadi 4 kategori utama, dimana masing-masing kategori dianalisis dengan teknik yang berbeda-beda. Adapun 4 kategori konsekuensi menurut API 581 ialah :

- Konsekuensi kebakaran dan ledakan
Konsekuensi ini dihitung dengan menggunakan *even tree analysis* (ETA) untuk mendapatkan probabilitas-probabilitas dari berbagai kemungkinan kegagalan baik *pool fires*, *flash fires*, maupun *vapor cloud explosion*, dan dikombinasikan dengan pemodelan komputer untuk menentukan besarnya konsekuensi. Konsekuensi area ditentukan berdasarkan kecelakaan pada personil dan kerusakan komponen akibat radiasi suhu dan ledakan. Kerugian finansial juga ditentukan berdasarkan area yang terkena dampak keluaran fluida tersebut.
- Konsekuensi keracunan
Dihitung dengan menggunakan pemodelan komputer untuk menentukan besarnya konsekuensi

area sebagai hasil dari luasan area yang mengandung konsentrasi beracun yang terlepas ke luar ke personil dan lingkungan.

- Pelepasan *non-flammable* dan *non-toxic*
Konsekuensi ini juga harus diperhitungkan karena keduanya dapat menyebabkan luka parah terhadap personil maupun dapat merusak komponen dari percikan bahan kimia dan pembakaran uap dengan suhu yang tinggi serta ledakan.
- Konsekuensi biaya
Konsekuensi ini termasuk kerugian yang terjadi akibat gangguan proses sehingga mengganggu proses bisnis dan biaya yang dikeluarkan untuk memulihkan kondisi lingkungan yang terkena dampak bahaya tersebut. Konsekuensi gangguan proses bisnis diestimasi sebagai fungsi hasil konsekuensi *flammable* dan *non-flammable*. Konsekuensi lingkungan ditentukan secara langsung dari masa pelepasan dan laju pelepasan.

Sedangkan untuk analisis konsekuensi, API 581 memberikan 2 level untuk analisis konsekuensi, yaitu :

a. Level 1

Analisis konsekuensi level 1 dapat digunakan pada jumlah fluida representatif yang terbatas. Metode sederhana ini terdiri dari tabel-tabel dan grafik-grafik yang telah tersedia yang dapat digunakan untuk menghitung konsekuensi pelepasan fluida tanpa membutuhkan *software modeling* atau teknik yang khusus. Fluida-fluida yang dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan konsekuensi level 1 dapat dilihat pada lampiran B tabel B.1 asumsi sederhana dibawah ini digunakan pada analisis konsekuensi level 1 :

- Fase pelepasan fluida hanya berupa cairan atau gas, bergantung pada fase penyimpanan dan fase ketika fluida terlepas ke atmosfer.

- Sifat fluida untuk fluida representatif yang mengandung campuran berdasarkan pada nilai-nilai misalnya *molecular weight* (MW), *normal boiling point* (NBP), *density*, *Auto Ignition Temperature* (AIT), *Specific Heat* (Cp).
- Probabilitas kebakaran, serta probabilitas kejadian lain (VCE, *pool fire*, *jet fire*, dll) telah ditentukan sebelumnya untuk masing-masing fluida representatif sebagai fungsi dari suhu, AIT, dan tipe pelepasan.

b. Level 2

Analisis konsekuensi level 2 mungkin digunakan pada kasus dimana asumsi pada analisis konsekuensi level 1 tidak valid. Misalnya dibutuhkan perhitungan yang lebih detail untuk kondisi dibawah ini :

- Fluida spesifik tidak disebutkan dalam daftar referensi fluida yang tersedia pada analisis level 1, termasuk kasus dimana fluida merupakan campuran berbagai macam atau dimana konsekuensi keracunan tidak terwakili secara memadai oleh salah satu kelompok referensi fluida.
- Cairan disimpan dekat dengan titik kritis, dalam hal ini, asumsi gas ideal untuk persamaan rilis uap tidak valid.
- Efek dari rilis dua fase, termasuk cairan *jet entrainment* serta *rainout* perlu dimasukkan dalam penilaian.
- Efek *BLEVES* yang akan dimasukkan dalam perhitungan (tidak termasuk dalam analisis level 1).
- Efek ledakan *non-flammable* bertekanan, seperti kemungkinan ketika gas *non-flammable* bertekanan (misalnya udara atau nitrogen) yang dilepaskan selama pecahnya *vessel* harus dimasukkan dalam perhitungan (tidak termasuk pada analisis level 1).
- Asumsi meteorologi digunakan dalam perhitungan dispersi yang membentuk dasar untuk Level 1

konsekuensi pencarian tabel analisis tidak mewakili data situs.

Secara umum konsekuensi dibedakan menjadi dua, yakni konsekuensi berdasarkan area dan konsekuensi berdasarkan biaya. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis konsekuensi level 1 berdasarkan area.

Langkah-langkah dalam perhitungan analisis konsekuensi berdasarkan API 581 adalah sebagai berikut :

1. Menentukan pelepasan fluida dan sifat-sifatnya, termasuk fase pelepasannya.

Fluida representatif yang paling sesuai dengan fluida yang terkandung dalam sistem bertekanan akan dievaluasi dan dipilih dari fluida representatif seperti yang ditampilkan pada Tabel B.1 lampiran B.

2. Memilih set ukuran lubang untuk menentukan kemungkinan konsekuensi pada perhitungan resiko.

Ukuran lubang pelepasan yang ditunjukkan pada Tabel B.4 lampiran B digunakan pada analisis konsekuensi level 1 dan 2. Pemilihan ukuran lubang pelepasan didasarkan pada tipe peralatan dan ukurannya. Annex A API 581 memberikan keterangan untuk *pressure vessel*, empat ukuran lubang pelepasan diasumsikan untuk semua ukuran dan tipe *pressure vessel*.

3. Menghitung laju pelepasan

Laju pelepasan bergantung pada sifat-sifat fisik material (fluida), fase awal, kondisi proses pengoperasian, dan ukuran lubang pelepasan yang telah ditentukan. Laju pelepasan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.25 apabila tekanan penyimpanan lebih besar dari tekanan transisi.

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} x A_n x P_s \sqrt{\left(\frac{k x MW x g c}{R x T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (2.25)$$

Laju pelepasan dapat dihitung menggunakan rumusan 2.26 berikut ini apabila tekanan penyimpanan kurang dari tekanan transisi.

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot gc}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]} \quad (2.26)$$

4. Mengestimasi masa total dari fluida yang mungkin terlepas

API RBI memberikan keterangan untuk konsekuensi kegagalan dari sebuah peralatan dievaluasi ialah mengombinasikan dengan adanya peralatan lain yang dapat berkontribusi menambah massa fluida yang terlepas. Massa fluida yang terlepas dapat dihitung menggunakan rumusan 2.27 berikut ini :

$$Mass_{avail} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}] \quad (2.27)$$

Dimana :

Mass_{comp} : massa peralatan yang dianalisis

Mass_{add} : massa tambahan yang dapat terlepas selama 3 menit

Mass_{inv} : massa komponen lain yang terdapat dalam *inventory group*

- a. Menghitung massa komponen, Mass_{comp}, pada peralatan yang dianalisis

Massa komponen dihitung menggunakan rumusan 2.28 di bawah ini :

$$Mass_{comp} = \rho \times 50\% \times V \quad (2.28)$$

- b. Menghitung massa pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, Mass_{comp,i}.

- c. Menghitung massa total pada *inventory group*, Mass_{inv}.

$$\sum mass_{inv} = \sum_{i=1}^n mass_{comp,i}$$

- d. Menghitung *flow rate* untuk diameter 8 inch menggunakan persamaan 2.29 di bawah ini :

$$W_{max8} = \frac{C_d}{C_2} \times A_8 \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times gc}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (2.29)$$

- e. Menghitung massa fluida tambahan, mass_{add,n}, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus 2.30 berikut ini :

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}] \quad (2.30)$$

- f. Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 2.30 di atas.
5. Menentukan tipe pelepasan, *continous* atau *instantaneous*, untuk menentukan metode yang digunakan untuk memodelkan dispersi dan konsekuensi.

API RBI memberikan dua pemodelan tipe pelepasan yaitu :

- a. *Instantaneous Release* – pelepasan sesaat atau *puff release* adalah pelepasan yang terjadi dengan sangat cepat sehingga cairan menyebar seperti awan yang besar atau *pool*.
- b. *Continuous Release* – pelepasan terus-menerus atau *plume release* adalah pelepasan yang terjadi selama jangka waktu yang lama, yang memungkinkan cairan untuk menyebar dalam bentuk elips memanjang (tergantung kondisi cuaca).

Besarnya waktu untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan dihitung menggunakan persamaan 2.31 berikut ini :

$$t_n = \frac{C_3}{W_n} \quad (2.31)$$

6. Mengestimasi dampak sistem pendeteksi dan isolasi pada besarnya pelepasan

Perusahaan pengolahan petrokimia, biasanya memiliki berbagai sistem deteksi, isolasi, dan mitigasi yang dirancang untuk mengurangi efek dari pelepasan bahan-bahan berbahaya. Tabel B.5 lampiran B menunjukkan kriteria sistem deteksi dan isolasi.

7. Menentukan laju pelepasan dan masa untuk analisis konsekuensi

Perhitungan pada tipe pelepasan *continuous*, pelepasan dimodelkan sebagai *steady state plume*. Oleh karena itu, laju pelepasan (lb/s) digunakan sebagai input analisis konsekuensi. Sedangkan untuk pelepasan sesaat, massa pelepasan digunakan dalam melakukan analisis. Rumusan

2.32 berikut ini digunakan dalam menghitung laju pelepasan *continuous release*.

$$\text{Rate}_n = W_n (1 - \text{fact}_{di}) \quad (2.32)$$

Rumusan 2.33 di bawah ini digunakan untuk menghitung massa pelepasan *instantaneous release*.

$$\text{Mass}_n = \min [(\text{rate}_n \times \text{Id}_n), \text{mass}_{\text{avail},n}] \quad (2.33)$$

Dimana :

Rate_n : laju pelepasan (lb/s)

Id_n : durasi kebocoran (*second*)

8. Menghitung konsekuensi kebakaran/ledakan

Konsekuensi area diestimasi dari perhitungan laju pelepasan (untuk pelepasan *continuous*) atau masa pelepasan (untuk pelepasan *instantaneous*).

a. Menghitung konsekuensi area *component damage*

Konsekuensi area *component damage* dibedakan menjadi 4, yaitu :

- *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 2.34 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = a(\text{rate}_n)^b \cdot (1 - \text{fact}_{mit}) \quad (2.34)$$

- *Auto-ignition Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 2.35 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} = a(\text{rate}_n)^b \cdot (1 - \text{fact}_{mit}) \quad (2.35)$$

- *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 2.36 berikut ini :

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} = \min[\{a (\text{mass}_n)^b\}, C_7] \cdot \left(\frac{1 - \text{fact}_{mit}}{e_{eff_n}} \right) \quad (2.36)$$

- *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 2.37 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST} = \min[\{a (\text{mass}_n)^b\}, C_7] \cdot \left(\frac{1 - \text{fact}_{mit}}{e_{eff_n}} \right) \quad (2.37)$$

b. Menghitung konsekuensi area *personel injury*

- *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 2.38 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AINL-CONT} = [a (effrate_n^{AINL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (2.38)$$

- *Auto-ignition Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 2.39 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AIL-CONT} = [a (effrate_n^{AIL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (2.39)$$

- *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 2.40 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AINL-INST} = [a (effrate_n^{AINL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (2.40)$$

- *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 2.41 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AIL-INST} = [a (effrate_n^{AIL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (2.41)$$

c. Menghitung *instantaneous/continuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan persamaan 2.42, 2.43, atau 2.44 yang sesuai.

a. Nilai *blending factor* untuk tipe pelepasan *continuous* dihitung menggunakan persamaan 2.42 berikut ini :

$$fact_n^{IC} = \min \left[\left\{ \frac{rate_n}{C_5} \right\}, 1.0 \right] \quad (2.42)$$

Dengan nilai $C_5 = 55.6$

b. Nilai *blending factor instantaneous* apabila konstanta tidak disediakan dalam tabel B.8 atau B.9 maka nilai digunakan persamaan 2.43 di bawah ini :

$$fact_n^{IC} = 0.0 \quad (2.43)$$

- c. Nilai *blending factor* untuk pelepasan *instantaneous* tidak disediakan, sehingga digunakan persamaan 2.44 di bawah ini :

$$fact_n^{IC} = 1.0 \quad (2.44)$$

- d. Menghitung *AIT blending factor* menggunakan rumusan 2.45, 2.46, dan 2.47 yang sesuai.

$$fact^{AIT} = 0 \quad (2.45)$$

$$fact^{AIT} = \frac{apabila T_s + C_6 \leq AIT}{\frac{(T_s - AIT + C_6)}{2 \times C_6}} \quad (2.46)$$

$$fact^{AIT} = 1 \quad (2.47)$$

$$apabila T_s - C_6 \geq AIT$$

- e. Menghitung *continuous/instantaneous blended consequence area* menggunakan rumusan 2.48 sampai 2.51 berdasarkan konsekuensi area yang sudah dihitung sebelumnya.

$$CA_{cmd,n}^{AIL} = CA_{cmd,n}^{AIL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (2.48)$$

$$CA_{cmd,n}^{AINL} = CA_{cmd,n}^{AINL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (2.49)$$

$$CA_{inj,n}^{AIL} = CA_{inj,n}^{AIL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AIL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (2.50)$$

$$CA_{inj,n}^{AINL} = CA_{inj,n}^{AINL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AINL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (2.51)$$

- f. Menghitung *AIT blended consequence area* untuk kerusakan komponen menggunakan rumusan 2.52 dan untuk cedera personel dengan menggunakan rumusan 2.53 di bawah ini.

$$CA_{cmd,n}^{flam} = CA_{cmd,n}^{AIL} \times fact^{AIT} + CA_{cmd,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (2.52)$$

$$CA_{inj,n}^{flam} = CA_{inj,n}^{flam-AIL} \times fact^{AIT} + CA_{inj,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (2.53)$$

9. Menghitung konsekuensi *toxic*

Konsekuensi keracunan dihitung apabila terdapat kandungan asam sulfida (H₂S) dalam fluida yang dianalisis.

Fluida LPG tidak memiliki kandungan asam fluida, sehingga konsekuensi toxic tidak perlu dihitung.

10. Menghitung *non-flammable, non-toxic consequence*

Konsekuensi *non-flammable* dan *non-toxic* dihitung pada fluida yang tidak mudah terbakar dan tidak beracun, namun berbahaya. Salah satu contohnya ialah kabut. Fluida yang dianalisis dalam tugas akhir ini ialah LPG. Fluida LPG merupakan fluida yang tidak berwarna namun mudah terbakar, sehingga tidak termasuk dalam kategori ini.

11. Menentukan probabilitas kerusakan akhir peralatan dan cedera personil

Konsekuensi area untuk kerusakan komponen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.54 berikut ini :

$$CA_{cmd}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times CA_{cmd,n}^{flam}}{gff_{total}} \right) \quad (2.54)$$

Konsekuensi area untuk cedera personel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.55 berikut ini :

$$CA_{inj}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times CA_{inj,n}^{flam}}{gff_{total}} \right) \quad (2.55)$$

12. Menghitung konsekuensi akhir

Konsekuensi area akhir untuk kerusakan komponen dihitung dengan persamaan 2.56 berikut ini :

$$CA_{cmd} = \max[CA_{cmd}^{flam}, CA_{cmd}^{tox}, CA_{cmd}^{nfnt}] \quad (2.56)$$

Konsekuensi area akhir untuk cedera personel dihitung dengan persamaan 2.57 berikut ini :

$$CA_{inj} = \max[CA_{inj}^{flam}, CA_{inj}^{tox}, CA_{inj}^{nfnt}] \quad (2.57)$$

Konsekuensi akhir dihitung menggunakan rumusan 2.58 di bawah ini :

$$CA = \max[CA_{cmd}, CA_{inj}] \quad (2.58)$$

2.1.5 Analisis Resiko

Analisis resiko terdiri dari tiga komponen utama yaitu *risk assessment*, *risk management*, dan *risk communication*. *Risk assessment* merupakan penilaian terhadap resiko suatu sistem atau komponen sehingga bila terjadi hal-hal yang memungkinkan

terjadinya bahaya dapat segera dilakukan tindakan pencegahan. Tindakan pencegahan atau biasa dikenal sebagai tindakan mitigasi termasuk dalam *risk management*. Setelah sistem atau komponen yang beresiko diatur sedemikian rupa sehingga mencegah suatu bahaya terjadi, tindakan penilaian resiko serta penanganan wajib disampaikan kepada pihak-pihak terkait misalnya staff, pekerja, ataupun penduduk sekitar. Tindakan tersebut dinamakan *risk communication*.

Model tersebut dibatasi dengan peraturan nasional ataupun internasional yang menyatakan bahwa *risk assessment* dan *risk management* merupakan dua pokok bahasan dengan proses yang berbeda. Model tersebut mengenalkan bahwa terdapat hal yang saling tumpang tindih antar elemen individu namun juga fungsi pasti dibutuhkan oleh legislasi yang cukup berbeda antara satu elemen dengan elemen yang lain. Pemisahan antara *risk assessment* dan *risk management* sangat penting untuk membedakan dengan jelas evaluasi dari resiko tersebut berdasarkan bukti ilmiah dari penilaian terhadap konteks yang lebih luas dan menentukan tindakan yang sesuai dengan kondisi tersebut. Namun, diakui bahwa *risk analysis* merupakan suatu proses berulang-ulang dari interaksi antara *risk assessment* dan *risk management* sangatlah penting untuk aplikasi praktis di lapangan (Santos, 2008).

2.1.6 Penilaian Resiko

Proses penilaian terhadap resiko dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh kemungkinan buruk yang mungkin dapat membahayakan kesehatan manusia, lingkungan, proses produksi, maupun peralatan karena aktivitas manusia dan teknologi. Tiga langkah yang termasuk dalam *risk assessment* meliputi :

1. Identifikasi kerusakan melalui analisis “apa”, “bagaimana”, “dimana”, dan “kapan”
2. Pertimbangan kemungkinan dari konsekuensi
3. Estimasi resiko untuk membagi kemungkinan kerusakan yang akan terjadi

Langkah awal dari *risk assessment* ialah identifikasi bahaya dan dampak dari bahaya tersebut. Siapa saja atau apa saja yang akan terkena dampak dari bahaya tersebut. Langkah berikutnya adalah menentukan frekuensi kejadian atau kemungkinan terjadinya bahaya tersebut. Seberapa sering kejadian tersebut dapat terjadi, karena resiko adalah kombinasi dari *consequence* dan *probability*.

Metode yang digunakan dalam melakukan penilaian resiko adalah metode kuantitatif atau metode semi kuantitatif. Pada metode kuantitatif, pendekatan yang dilakukan lebih kepada pendekatan nilai (angka). Sedangkan pada metode semi kuantitatif pendekatan yang digunakan adalah pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pada metode ini, data sangat berperandalam mengevaluasi *damage mechanism* dan *model statistic* digunakan untuk mengevaluasi probabilitas kegagalan (Santos, 2008).

2.1.7 Failure Modes

Failure modes atau mode kegagalan adalah kejadian yang merupakan penyebab terjadinya *functional failure*. *Failure modes* dalam API RP 581 merupakan *damage mechanism*. Sedangkan *functional failure* merupakan *loss of failure*, dimana suatu *equipment* tidak lagi dapat bekerja sesuai dengan kapasitasnya. Ada dua jenis *functional failure* yaitu *total failure* dan *partial failure*. *Total failure* merupakan kegagalan yang *corrective* sudah tidak dapat beroperasi sama sekali. Sedangkan *partial failure* terjadi karena adanya perbedaan terhadap *performance standart* misalnya lebih dari (*upper than*) atau kurang dari (*lower than*) *performance*.

API RP 581 memberikan *failure modes* untuk *pressure vessel* seperti di bawah ini:

1. *Thinning Damage Factor*
2. *Component Lining Damage Factor*
3. *SCC Damage Factor – Caustic Cracking*
4. *SCC Damage Factor – Amine Cracking*
5. *SCC Damage Factor – Sulfide Stress Cracking*
6. *SCC Damage Factor – HIC / SOHIC – H₂S*
7. *SCC Damage Factor – Carbonate Cracking*

8. *SCC Damage Factor – PTA Cracking*
9. *SCC Damage Factor – CLSCC*
10. *SCC Damage Factor – HSC-HF*
11. *SCC Damage Factor – HIC / SOHIC – HF*
12. *External Corrosion Damage Factor – Ferritic Component*
13. *External CLSCC Damage Factor Austenitic Component*
14. *CUI Damage Factor – Ferritic Component*
15. *External CUI CLSCC Damage Factor – Austenitic Component*
16. *HTHA Damage Factor*
17. *Brittle Damage Factor*
18. *Temper Embrittlement Damage Factor*
19. *885 Embrittlement Damage Factor*
20. *Sigma Phase Embrittlement Damage Factor*
21. *Piping Mechanical Fatigue Damage Factor*

Identifikasi yang tepat dari *damage mechanism* untuk komponen yang mengandung cacat atau bentuk lain dari kerusakan juga merupakan langkah pertama dalam melakukan inspeksi berdasarkan resiko (RBI) sesuai dengan API RP 581 (API 571, 2008). Sehingga dibutuhkan pertanyaan-pertanyaan yang dapat menyaring jenis dari *damage mechanism* yang paling berpengaruh terhadap komponen tersebut.

Damage mechanism dapat disebabkan oleh desain yang tidak memadai, atau interaksi dengan lingkungan/kondisi yang agresif pada peralatan yang bekerja pada saat normal atau selama periode transisi. Secara umum tipe-tipe kerusakan yang ditemukan pada *petrochemical equipment* ialah :

- *General and local metal loss due to corrosion and/or erosion*
- *Surface connected cracking*
- *Subsurface cracking*
- *Microfissuring/microvoid formation*
- *Metallurgical change*

Masing-masing tipe kerusakan pada umumnya disebabkan oleh satu atau beberapa *damage mechanism*. Sedangkan *damage*

mechanism terjadi akibat adanya kombinasi material, proses lingkungan, dan kondisi operasi yang sangat spesifik.

2.1.8 Program Inspeksi

Inspeksi merupakan evaluasi kualitas dari beberapa karakteristik yang berhubungan dengan standart atau spesifikasi. Proses inspeksi berkembang parallel dengan seiringnya perkembangan sistem yang kompleks dan proses produksinya. Sebuah diagram aliran berfungsi untuk menunjukkan jenis-jenis material, komponen, dan proses yang secara kolektif atau secara berurutan membentuk sistem. Inspeksi terdiri dari beberapa kegiatan pembandingan dengan spesifikasi, menilai kesesuaian, klasifikasi sesuai kasus, klasifikasi tidak sesuai kasus, dan pencatatan dan pelaporan data yang diperoleh (Pierre, 2007).

Beberapa teknik inspeksi yang dapat digunakan merupakan pilihan dari jadwal spesifik akan bergantung pada keakuratan dan biaya dari inspeksi tersebut, menyeimbangkan antara uang yang dihabiskan pada pengukuran keselamatan dengan bisnis dikembalikan lagi pada sistem yang dipertahankan integritasnya (Pierre, 2007).

Dalam laporan yang dihasilkan, *direct technique* merupakan salah satu teknik yang mengukur parameter secara langsung dan dipengaruhi oleh proses korosi. Sedangkan *indirect technique* merupakan teknik inspeksi yang memberikan data tentang parameter-parameter yang berpengaruh, atau dipengaruhi oleh korosi lingkungan atau produk dari proses korosi (Pierre, 2007).

Sebagai tambahan, sebuah teknik inspeksi dapat digambarkan sebagai *intrusive* apabila teknik inspeksi tersebut membutuhkan akses melalui sebuah pipa atau dinding vessel untuk melakukan pengukuran. Sedangkan *non-intrusive* merupakan teknik inspeksi yang tidak membutuhkan akses tersebut dalam proses pengukuran. *Teknik intrusive* yang paling sering dilakukan adalah menggunakan beberapa bentuk pemeriksaan atau tes spesimen, yang meliputi *flush mounted probe designs*. Beberapa teknik *indirect* dapat dapat berfungsi untuk memonitor berbagai parameter *online* secara *real-time*

sementara yang lain memberikan informasi *off-line* setelah *sample* yang dikumpulkan dari proses aliran atau lokasi operasional lainnya di analisis lebih lanjut dengan mengikuti metode yang telah diakui secara internasional (Pierre, 2007).

Untuk jenis inspeksi berupa inspeksi visual pada *teknik intrusive* dan *teknik non-intrusive* biasanya dideskripsikan sebagai teknik *nondestructive evaluation* (NDE), *nondestructive testing* (NDT), atau *nondestructive Inspection* (NDI) (Pierre, 2007).

Berdasarkan *Handbook of Non Destructive Examination*, berikut ini merupakan penjelasan jenis-jenis inspeksi untuk *pressure vessel* :

1. *Visual inspection*

Jenis-jenis inspeksi ini adalah :

a. *Borescope*

Borescope bekerja dengan membentuk gambar dari area tampilan dengan lensa objektif. Gambar tersebut ditransfer melalui sebuah batang dengan sistem lensa *intermediate*. Gambar sampai di lensa okuler, menciptakan gambar virtual yang dapat dilihat dan dapat difokuskan untuk melihat dengan nyaman. *Borescope* sering menggabungkan cahaya dekat lensa objektif untuk menerangi area yang ditampilkan. Gambar 2.1 di bawah ini menunjukkan contoh inspeksi menggunakan *borescope*.



Gambar 2. 2 Pemeriksaan menggunakan
borescope

Sumber : Charles H, 2003

b. Fiberscope

Fiberscope adalah kabel serat optik yang mengirimkan cahaya dari ujung ke ujung. *Fiberscope* ini mirip dengan *borescope* dan yang menjadi perbedaan utama adalah *fiberscope* lebih fleksibel dan dapat masuk ke daerah yang tidak terjangkau. *Fiberscope* juga dapat masuk ke daerah yang tidak terjangkau.



Gambar 2. 3 Fiberscope
Sumber : Charles H, 2003

Fiberscope juga dapat menggabungkan sumber cahaya sebagai penerangan area subjek dan peralatan untuk membengkokkan ujung dalam arah yang diinginkan. Untuk *fiberscope*, gambar dilakukan dari lensa objektif ke lensa mata dengan seikat kabel serat optik, bukan oleh sistem lensa yang kaku. Cahaya tidak dapat melarikan diri melalui samping setelah memasuki sebuah kabel serat optik, sehingga selalu mengikuti kabel di sekitar tikungan dan belokan. Gambar 2.3 di atas menunjukkan contoh kabel *fiberscope*.

c. Video imaging system

Sistem video pencitraan atau “*videoscope*” terdiri dari penambahan kamera *charge coupled device* (CCD) di ujung dari probe fleksibel. Sistem ini terdiri dari sebuah kamera penerima gambar, prosesor, dan sebuah monitor

yang berfungsi untuk menampilkan gambar. Gambar 2.4 di bawah ini menunjukkan contoh peralatan *videoscope*.



Gambar 2. 4 *Videoscope*
Sumber : Charles H, 2003

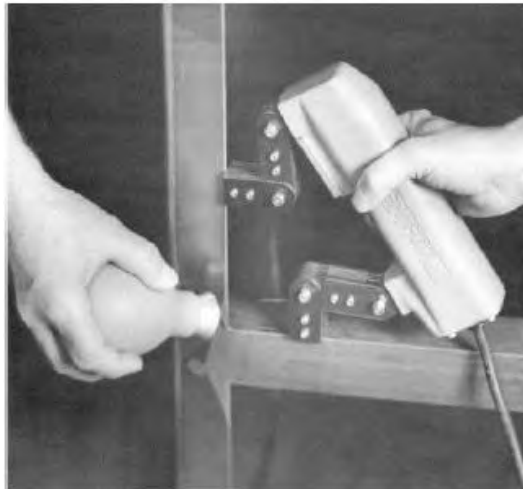
Metode *liquid penetrant inspection* termasuk ke dalam *metode non-destructive testing* (NDT). NDT merupakan metode pemeriksaan tanpa merusak material yang diperiksa. Metode ini hanya mampu mendeteksi kerusakan atau cacat material di bagian permukaan. Gambar 2.5 di bawah ini menunjukkan contoh pemeriksaan dengan menggunakan *liquid penetrant*.



Gambar 2. 5 *Liquid penetrant inspection*
Sumber : Charles H, 2003

2. *Magnetic Particle Inspection (MPI)*

Metode *magnetic particle inspection* (MPI) merupakan suatu metode inspeksi yang memanfaatkan prinsip gaya magnet. Metode ini sama dengan metode *liquid penetrant inspection* yang hanya mampu mendeteksi cacat permukaan. Pada inspeksi ini digunakan sebuah magnet (*yoke*) yang digunakan untuk mendeteksi cacat material. Gambar 2.6 berikut ini menunjukkan tipe pemeriksaan *magnetic particle inspection*.



Gambar 2. 6Magnetic particle inspection using
AC yoke

Sumber : Charles H, 2003

3. *Ultrasonic Inspection*

Jenis-jenis inspeksi ini meliputi :

a. *Thickness Measurement*

Pengukuran ketebalan dengan menggunakan alat *ultrasonic*. Gambar 2.7 menunjukkan contoh peralatan *thickness measurement*.



Gambar 2. 7 *Thickness gauge*

Sumber : Charles H, 2003

b. Defect Sizing

Kombinasi kemampuan komponen dan teknik membuat UT sangat tepat digunakan untuk mengetahui ukuran kedalaman dari keretakan dan secara luas digunakan di dunia industri. Gambar 2.8 menunjukkan pemeriksaan jenis *defect sizing*.

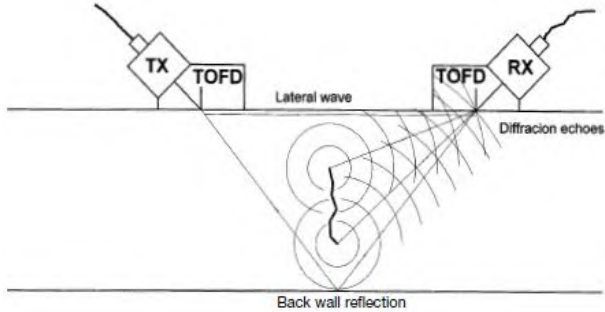


Gambar 2. 8 *Defect sizing inspection*

Sumber : Charles J, 2003

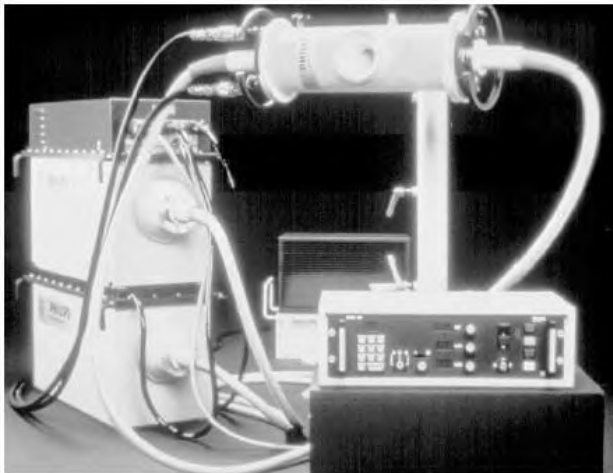
c. *Time of-Flight Diffraction (TOFD)*

Inspeksi ini menggunakan satu penghubung transduser sebuah sinyal *ultrasonic* melalui material yang diinspeksi. Gambar 2.9 berikut ini menunjukkan prinsip kerja *time of-flight diffraction* (TOFD).



Gambar 2. 9 TOFD
Sumber : Charles H, 2003

4. *Radiographic Inspection*



Gambar 2. 10 Sistem radiographic inspection
Sumber : Charles H, 2003

Jenis-jenis inspeksi ini meliputi :

a. *Computed Tomography*

Penggunaan radiografi dapat juga dibuat dengan menambahkan komputer dan algoritma-algoritma yang kompleks untuk memaipulasi data. Istilah lainnya adalah *computed tomography* atau *CT scanning*. Gambar 2.10 di atas menunjukkan peralatan untuk *radiographic inspection*.

b. *Tangential Radiography*

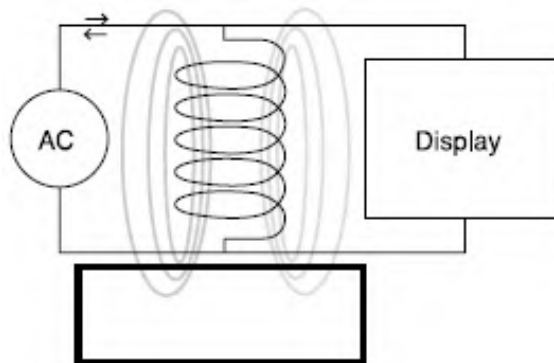
Tangential radiography juga biasa dikenal sebagai profil radiografi, yang digunakan untuk inspeksi secara detail pada bagian pipa kecil di bawah insulasi.

5. *Electromagnetic Inspection*

Jenis-jenis inspeksi dengan menggunakan metode ini meliputi :

a. *Magnetic Flux Leakage* (MFL)

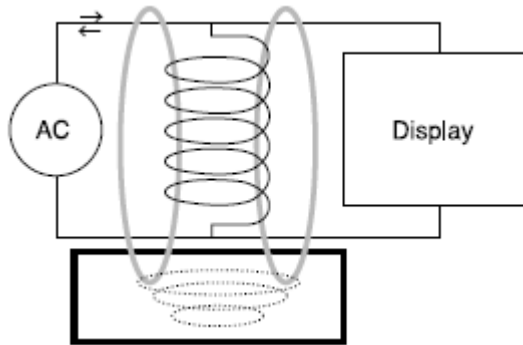
Magnetic flux leakage (MFL) merupakan metode paling lama dan biasanya paling sering digunakan untuk metode inspeksi *in-line* dalam mencari bagian-bagian *metal-loss* pada *pipeline* yang mentransmisikan gas. Gambar 2.11 di bawah ini menunjukkan prinsip kerja *electromagnetic inspection*.



Gambar 2. 11 *Electromagnetism*

Sumber : Charles H, 2003

b. *Eddy current*



Gambar 2. 12 *Eddy current system*

Sumber : Charles H, 2003

1. *Remote-field Eddy Current* (RFEC)

REFC dikembangkan pada tahun 1950-an dan secara luas digunakan untuk inspeksi pipa-pipa metalik dan *tubing*.

2. *Pulsed Eddy Current* (PEC)

Keuntungan PEC dibandingkan dengan EC konvensional adalah dapat menembus secara lebih luas dan dalam, kemampuan untuk *lift-off* relatif tidak dirasakan, dan kemampuan untuk menentukan hasil pengukuran secara kuantitatif untuk *wall thickness*. Gambar 2.12 di atas menunjukkan prinsip kerja *eddy current system*.

3. *Magneto-Optic Imaging* (MOI)

Magneto-optic Imaging / EC NDE berdasarkan prinsip rotasi magnet-optik Faraday

4. *Thermographic Inspection*

Thermography merupakan teknik inspeksi penggabungan yang mana monitor berubah ke dalam pola termal pada obyek yang dipanaskan, didinginkan, atau dijaga kondisinya. Inspeksi ini mungkin dapat

digunakan untuk mengukur variasi karakteristik material dan kondisi.

2.1.9. Analisis *Remaining Life*

Remaining life berdasarkan API 579 dapat dihitung menggunakan persamaan 2.59 berikut ini :

$$remaininglife = \frac{t_{actual} - t_{required}}{corrosionrate} \quad (2.59)$$

Dimana :

T_{actual} : ketebalan pada inspeksi saat ini, inch

$T_{required}$: ketebalan minimum yang seharusnya dimiliki oleh *pressure vessel*

2.2 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

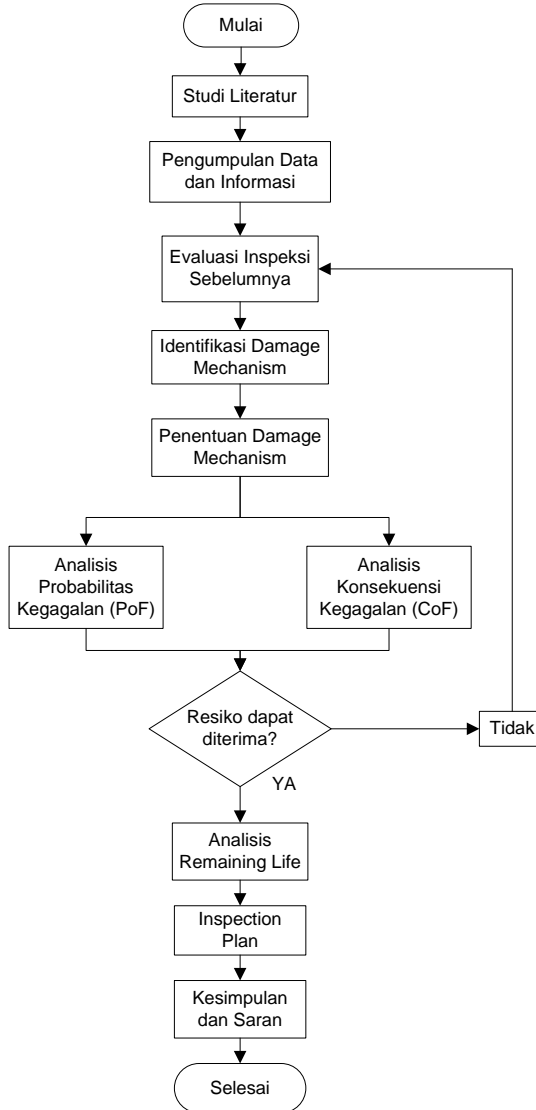
1. Intan Karismawati

Penelitian menggunakan metode *risk based inspection* pada *pressure vessel* sebelumnya telah dilakukan oleh Intan Karismawati, mahasiswi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS. Hasil dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa level resiko atau tingkat resiko pada masing-masing *head and shell pressure* pada *LP Separator*, *Glycol contactor* dan *Glycol Scrubber* berada pada tingkat *low risk* dan merupakan tingkat resiko yang dapat diterima (*acceptable risk*).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3. 1 Alur pengerjaan tugas akhir

Bab III dalam tugas akhir ini berisi skema pengerjaan. Bab ini menjadi inti dalam langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan analisis dan perhitungan guna mendapatkan tingkat level resiko, perencanaan inspeksi, analisis umur sisa, dan analisis biaya. Gambar 3.1 di atas menunjukkan diagram alur pengerjaan yang dilakukan.

1.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk merangkum teori-teori dasar, acuan secara umum dan khusus, serta untuk memperoleh berbagai informasi pendukung lainnya yang berhubungan dengan pengerjaan penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan cara membaca dan merangkum isi buku/*guideline*, skripsi/thesis yang berhubungan dengan tugas akhir, mencari jurnal ataupun mencari definisi-definisi istilah dalam tugas akhir, dan dengan melakukan diskusi dengan karyawan-karyawan TLS. Tabel 3.1 menunjukkan hasil studi literatur yang telah dilakukan.

Tabel 3. 1 Hasil studi literatur

Referensi	Hasil yang didapatkan
Penilaian Resiko dan Penjadwalan program Inspeksi pada <i>pressure vessel</i> dengan Menggunakan metode <i>Risk Based Inspection</i> (RBI)	Referensi dalam menyusun latar belakang, metodologi penelitian, dan judul tugas akhir
Studi Aplikasi <i>Risk Based Inspection</i> pada <i>pressure vessel</i> dan perpipaan proses di Kodeco Energy co. – Gresik	Referensi tambahan dalam menyusun latar belakang dan metodologi penelitian
Perencanaan Inspeksi <i>pressure vessel Low temperature separator</i> dengan metode <i>Risk Based Inspection</i> (RBI)	Referensi tambahan dalam menyusun latar belakang dan metodologi penelitian
Guideline : a. API 581 b. API 579 c. ASME Section VIII Div. 1	Pedoman dalam menyusun analisis <i>Risk Based Inspection</i>

Tabel 3. 1 Hasil studi literatur (lanjutan)

Pustaka Internet	Definisi istilah <i>pressure vessel</i> , jenis-jenis <i>pressure vessel</i> , dll
Diskusi dengan karyawan-karyawan TLS	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Pressure vessel</i> yang dimiliki oleh TLS berjumlah 4 buah dengan jenis <i>storage tank</i> - Pernah terjadi kebocoran kecil dalam pipa penyalur LPG menuju <i>pressure vessel</i> - Fluida di dalam <i>pressure vessel</i> ialah <i>Liquified Petroleum Gasses</i> (LPG) sehingga kurang korosif terhadap internal tangki - Referensi dalam menyusun latar belakang, tujuan, manfaat, dan rumusan masalah
<i>Handbook of Non Destructive Evaluation</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Pengenalan program-program inspeksi NDE - Referensi dalam menyusun tinjauan pustaka

1.2 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data konstruksi dan operasional *pressure vessel* jenis *storage tank* dari arsip perpustakaan milik Terminal LPG Semarang. Data yang dibutuhkan meliputi PFD, P&ID *pressure vessel*, jenis fluida yang diproses, desain dan operasional *pressure vessel*, laporan interval waktu dan biaya inspeksi, dan data-data lain yang mendukung dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Data-data yang telah didapatkan nantinya akan digunakan dalam melakukan *screening damage mechanism*, perhitungan *probability of failure*, *consequence of failure*, resiko, analisis *remaining life*, penjadwalan program inspeksi, dan analisis biaya inspeksi.

1.3 Evaluasi Existing Inspection

Inspeksi yang sudah pernah dilakukan perlu dianalisis, baik hasil yang didapatkan maupun keefektifitasan inspeksi yang dilakukan. Data inspeksi digunakan dalam perhitungan *probability of failure*. Data laporan inspeksi yang dibutuhkan untuk dapat mengevaluasi inspeksi meliputi:

- Jadwal dan frekuensi
- Tipe/metode inspeksi
- Bagian *pressure vessel* yang diinspeksi
- Hasil inspeksi

Laporan hasil inspeksi berhubungan dengan nilai *damage factor* yang akan didapatkan. Metode inspeksi yang digunakan akan menunjukkan kategori keefektifitasan inspeksi. Begitu pula dengan frekuensi inspeksi yang dilakukan. Sehingga nilai *damage factor* sangat bergantung pada hasil inspeksi sebelumnya.

1.4 Identifikasi Damage Mechanisms

Damage mechanism atau mekanisme kerusakan menunjukkan jenis kerusakan yang paling mempengaruhi *pressure vessel*. API 581 memberikan 21 jenis *damage mechanism* yang terjadi pada *pressure vessel* dan pipa. Untuk menentukan Jenis *damage mechanism* yang sesuai dengan kondisi *pressure vessel* dapat dilakukan dengan cara melakukan *screening criteria* berdasarkan API 581.

Screening damage factor bergantung kepada komposisi material penyusun *pressure vessel*, komposisi fluida yang diproses atau disimpan didalam *pressure vessel*, kondisi lingkungan sekitar, dan factor-faktor lain yang berpengaruh terhadap mekanisme kerusakan *pressure vessel*.

1.5 Penentuan *Damage Mechanisms*

Jenis *damage mechanism* yang dipilih adalah *damage mechanism* yang mempunyai resiko paling tinggi penyebab terjadinya disintegritas pada perlatan tersebut. *Damage mechanism* dapat ditentukan dengan melakukan *screening* pertanyaan dalam API 581. Apabila semua pertanyaan hasilnya adalah “YA” maka *damage mechanism* tersebut adalah yang paling berpengaruh.

Screening pertanyaan tersebut digunakan untuk mempermudah dalam mendapatkan *damage factor* yang paling berpengaruh. Namun kondisi nyata di lapangan juga harus dipertimbangkan dalam menentukan *damage factor* yang sesuai.

1.6 Analisis Probabilitas

Setelah *damage mechanism* ditentukan yang paling berpengaruh terhadap kegagalan *pressure vessel*, maka akan dilakukan analisis *probability of failure*. Perhitungan *probability of failure* dipengaruhi oleh *generic failure frequency*, *damage factor*, dan *management systems factor*.

Adapun tahapan dalam menghitung probabilitas kegagalan ialah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai *generic failure frequency* (gff)

Nilai *generic failure frequency* dipengaruhi oleh tipe peralatan yang dianalisis. API 581 memberikan rekomendasi nilai *gff* seperti pada Tabel A.1 lampiran A untuk masing-masing tipe peralatan.

2. Menghitung nilai *damage factor*

Perhitungan nilai *damage factor* ditentukan dari *damage mechanism* yang telah didapatkan. Untuk *multiple damage factor* perlu dihitung masing-masing nilai *damage factor* yang berpengaruh. Setelah masing-masing nilai *damage factor* didapatkan maka selanjutnya dapat dihitung

nilai *damage factor* total dengan menggunakan rumusan yang diberikan dalam API 581.

3. Menghitung nilai *management systems factor*

Nilai *management systems factor* didapatkan dengan cara melakukan penilaian terhadap pertanyaan-pertanyaan seperti yang diberikan dalam lampiran 2.A API 581. Penilaian ini dilakukan oleh pihak perusahaan yang dalam hal ini diwakili oleh bapak Bloodtika, selaku ketua divisi *maintenance*.

3.6.1. Analisis probabilitas tangki (*pressure vessels*)

3.6.1.1. Analisis *Thinning Damage Factor*

API 581 memberikan langkah-langkah dalam menghitung *thinning damage factor* sebagai berikut :

1. Menentukan angka inspeksi dan kategori efektifitas inspeksi yang sesuai dengan menggunakan paragraf 5.5.2 API 581 untuk semua inspeksi yang telah dilakukan.
2. Menentukan umur inspeksi sejak inspeksi terakhir. Umur inspeksi dapat didefinisikan sebagai selisih waktu antara inspeksi sebelumnya dengan inspeksi terakhir. Umur inspeksi dapat dihitung dengan rumusan 3.1 dibawah ini:

$$age = current\ inspection - previous\ inspection \quad (3.1)$$

3. Menentukan laju korosi untuk *base metal* ($C_{r,bm}$) Laju korosi didapatkan dengan 3 cara yaitu :
 - a. Menanyakan kepada perusahaan
 - b. Mengukur nilai laju korosi pada saat dilakukan inspeksi
 - c. Menghitung nilai laju korosi sesuai dengan aturan Annex 2B API 581.

Laju korosi dipengaruhi oleh temperature penyimpanan, tekanan penyimpanan, fluida yang disimpan, dan material penyusun *pressure vessel*. Annex 2B API 581 memberikan 13 kriteria penyebab laju korosi. Penentuan laju korosi dilakukan dengan cara melakukan *screening* pada masing-masing kriteria. Tipe laju korosi pada

analisis tugas akhir ini ialah CO_2 corrosion. Laju korosi untuk CO_2 corrosion dapat dihitung menggunakan persamaan 3.2 berikut ini :

$$CR_{base} = f(T, pH) \times f_{CO_2}^{0.62} \times \left(\frac{S}{19}\right)^{0.146+0.0324 \cdot f_{CO_2}} \quad (3.2)$$

Dimana :

CR_{base} : corrosion rate (mm/years)

$f(T, pH)$: nilai dari temperature-pH

$f_{CO_2}^{0.62}$: fugacity CO_2 (bar)

S : shear stress (Pa)

4. Menentukan minimum required wall thickness (t_m)

Minimum required wall thickness dihitung dengan menggunakan design code yang digunakan yaitu ASME VIII div 2. Rumusan minimum wall thicknesialah :

$$t_{min} = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad (3.3)$$

dimana :

t_{min} : ketebalan minimum (mm)

P : tekanan (MPa)

R : radius (mm)

S : maximum allowable stress (MPa)

E : joint effectiveness

5. Perhitungan umur untuk peralatan yang memiliki cladding

Umur peralatan dengan perlindungan berupa cladding dihitung dengan rumusan 3.4 berikut ini:

$$age_{rc} = \max \left[\left(\frac{t_{rd} - t}{Cr, cm} \right), 0, 0 \right] \quad (3.4)$$

Pressure vessel yang dianalisis tidak memiliki cladding, sehingga perhitungan ini dapat diabaikan.

6. Menentukan A_{rt} (parameter damage factor)

Parameter damage factor (A_{rt}) dapat dihitung dengan persamaan 3.5 dibawah ini :

$$A_{rt} = \max \left[\left(1 - \frac{t_{rd} - (Cr, bmxage)}{t_{min} + CA} \right) \right] \quad (3.5)$$

7. Menentukan base damage factor for thinning (D_{fb}^{thin})

Base damage factor dapat ditentukan dari Tabel A.8 lampiran A . Penentuan nilai tersebut berdasarkan angka inspeksi dan kategori efektifitas inspeksi yang telah ditentukan sebelumnya.

8. Menentukan nilai *damage factor for thinning* (D_f^{thin})

Nilai *damage factor for thinning* dihitung dengan rumusan 3.6 dibawah ini :

$$D_{fthin} = \frac{D_{fb}^{thin} \times F_{IP} \times F_{DL} \times F_{WD} \times F_{AM} \times F_{SM}}{F_{OM}} \quad (3.6)$$

Penjelasan untuk masing-masing factor tambahan ialah sebagai berikut :

a. *Damage factor On-line Monitoring* (F_{OM})

Metode *on-line monitoring* yang umumnya digunakan ialah *key process variable*, *electrical resistance probes*, dan *corrosion coupons*. Apabila tidak dilakukan *on-line monitoring* maka nilai $F_{OM} = 1$.

b. *Injection/Mix Points* (F_{IP})

Faktor tambahan injeksi atau titik campuran didefinisikan sebagai titik campuran dimana senyawa kimia ditambahkan ke dalam fluida yang diproses. Apabila saluran pipa memiliki injeksi atau titik campuran maka nilai $F_{IP} = 3$. Namun apabila tidak, maka nilai $F_{IP} = 1$.

c. *Dead legs* (F_{DL})

Dead legs didefinisiakan sebagai bagian dari pipa atau saluran pipa yang hanya digunakan pada kondisi tertentu misalnya pada saat *start-ups*, *shut-downs*, atau *regeneration cycles* dari keseluruhan proses. Pipa yang tidak memiliki aliran yang signifikan termasuk ke dalam *deadlegs*. Apabila saluran pipa memiliki *deadlegs* maka $F_{DL} = 3$. Jika metode inspeksi yang dimiliki adalah *highly effective inspection* atau tidak memiliki *deadlegs* maka $F_{DL} = 1$.

d. *Welded construction* (F_{WD})

Hanya berlaku untuk *atmospheric storage tank*.

Apabila peralatan dilas (tidak dipaku) maka nilai $F_{WD} = 1$. Namun apabila peralatan tidak dilas maka nilai $F_{WD} = 10$.

e. *Maintenance in accordance with API 653* (F_{AM})

Hanya berlaku untuk *atmospheric storage tanks*.

Apabila tangki dirawat dengan menggunakan standart API 653 maka nilai $F_{AM} = 1$. Namun jika tidak maka nilai $F_{AM} = 5$.

f. *Settlement* (F_{SM})

Hanya berlaku untuk *atmospheric storage tank bottoms*.

Nilai F_{SM} ditentukan berdasarkan criteria dibawah ini:

- *Recorded settlement exceeds API 653 criteria* $F_{SM} = 2$.
- *Recorded settlement meets API 653 criteria* $F_{SM} = 1$
- *Settlement never evaluated* $F_{SM} = 1.5$
- *Concrete foundation, no settlement* $F_{SM} = 1$

3.6.1.2. Analisis External Damage Factor

Langkah-langkah dalam menghitung *external damage factor* ialah sebagai berikut :

1. Menentukan angka inspeksi dan kategori efektifitas inspeksi yang sesuai dengan menggunakan paragraf 5.5.2 API 581 untuk semua inspeksi yang telah dilakukan.
2. Menentukan umur inspeksi sejak inspeksi terakhir.
Umur inspeksi dapat didefinisikan sebagai selisih waktu antara inspeksi sebelumnya dengan inspeksi terakhir. Umur inspeksi dapat dihitung dengan rumusan 3.7 dibawah ini:
$$age = current\ inspection - previous\ inspection \quad (3.7)$$
3. Menentukan *time-in service*, age_{coat}
Umur *coating* dihitung dengan menggunakan persamaan 3.8 dibawah ini :
$$age_{coat} = \max[0, (coatinginst.date - date)] \quad (3.8)$$
4. Menentukan *time-in service*, age
Usia inspeksi diambil dari nilai usia waktu inspeksi dan usia pelapisan (*coating*) dipilih mana yang paling kecil.

Usia inspeksi ditentukan menggunakan persamaan 3.9 di bawah ini :

$$age = \min [age_{ik}, age_{coat}] \quad (3.9)$$

5. Menentukan laju korosi dasar (C_{rB})

Laju korosi dasar (C_{rB}) dipengaruhi oleh *the driver* dan suhu operasi. *The driver* didefinisikan sebagai kondisi atmosfer lingkungan yang dapat menyebabkan laju korosi. *Pressure vessel* yang dianalisis berada di sekitar laut, sehingga *the driver* termasuk ke dalam kategori *marine/cooling tower drift area*. Suhu operasinya berada pada 35°C atau sekitar 32°C. sehingga nilai laju korosinya:

$$\begin{aligned} C_{rB} &= 0.127 \text{ mm/years} \\ &= 0.005 \text{ inch/years} \end{aligned} \quad (3.10)$$

6. Menentukan laju korosi akhir (Cr)

Nilai laju korosi akhir dihitung dengan menggunakan rumusan 3.11 berikut ini :

$$Cr = C_{rB} \times \max [F_{PS}, F_{IP}] \quad (3.11)$$

Nilai faktor tambahan didapatkan dengan ketentuan dibawah ini :

a. Nilai untuk *pipe supports*, F_{PS}

Apabila pipa didukung oleh penyangga secara langsung atau oleh konfigurasi lain yang perawatan coating tidak sesuai, maka $F_{PS} = 2$; jika tidak $F_{PS} = 1$.

b. Nilai untuk *interface*, F_{IP}

Apabila pipa memiliki sebuah penghubung yang masuk ke dalam tanah atau air, maka $F_{IP} = 2$; jika tidak $F_{IP} = 1$.

7. Menentukan *minimum required wall thickness* (t_{min})

Minimum required wall thickness dihitung dengan menggunakan *design code* yang digunakan dalam mendesain *pressure vessel*. Dalam analisis ini akan digunakan ASME Section VIII Div II, dengan rumusan *minimum required wall thickness* :

$$t_{min} = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad (3.12)$$

8. Menentukan factor kerusakan (Art)

Parameter factor kerusakan dihitung dengan menggunakan rumusan 3.13 di bawah ini :

$$A_{rt} = \max \left[1 - \left(\frac{t_{rd} - C_{r,bm} \times age}{t_{min} + CA} \right) \right], 0.0 \quad (3.13)$$

9. Menentukan nilai damage factor (d_f^{extd})

Nilai *base damage factor* ditentukan dari nilai A_{rt} , kategori efektifitas inspeksi, dan angka inspeksi.

10. Menghitung nilai total *damage factor*

Nilai *damage factor* total didapatkan dengan menjumlahkan nilai *thinning damage factor* dan *external damage factor*, sehingga :

$$d_{f-total} = d_f^{thin} + d_f^{extd} \quad (3.14)$$

3.6.1.3. Analisis probabilitas pipa

Analisis resiko untuk pipa juga dilakukan dalam tugas akhir ini. Analisis resiko dilakukan pada pipa 2 inch dan 4 inch. Adapun langkah-langkah dalam menghitung probabilitas kegagalan pipa ialah :

1. Menentukan angka kegagalan sistem perpipaan yang pernah terjadi dan menentukan *base damage factor* untuk *piping failure* berdasarkan kriteria di bawah ini :

- a. *None* - $d_{fb}^{PF} = 1$
- b. *One* - $d_{fb}^{PF} = 50$
- c. *Greater than one* - $d_{fb}^{PF} = 500$

2. Menentukan banyaknya getaran atau suara yang terlihat/terdengar yang terjadi pada pipa, dan menentukan *base damage factor* untuk *audible shaking* berdasarkan kriteria berikut ini :

- *Minor* - $d_{fb}^{AS} = 1$
- *Moderate* - $d_{fb}^{AS} = 50$
- *Severe* - $d_{fb}^{AS} = 500$

3. Menentukan *adjustment factor* untuk getaran yang terlihat atau terdengar, berdasarkan kriteria berikut ini :

- a. *Shaking less than 2 weeks* - $F_{fb}^{AS} = 1$
- b. *Shaking between 2 and 13 weeks* - $F_{fb}^{AS} = 50$

- c. *Shaking between 13 and 52 weeks* - $F_{fb}^{AS} = 500$
4. Menentukan tipe *cyclic loading* yang terhubung secara langsung dan tidak langsung pada jarak kurang dari 15.24 meter (50 ft) pada pipa, dan menentukan *base damage factor* untuk *cycling loading* berdasarkan kriteria :
- Reciprocating machinery* - $d_{fb}^{CF} = 50$
 - PRV Chatter* - $d_{fb}^{CF} = 25$
 - Valve with high pressure drop* - $d_{fb}^{CF} = 10$
 - None* - $d_{fb}^{CF} = 1$
5. Menentukan *base damage factor* menggunakan persamaan 3.15 berikut ini :
- $$D_{fb}^{mfat} = \max[d_{fb}^{PF}, (d_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), d_{fb}^{CF}] \quad (3.15)$$
6. Menentukan nilai *damage factor* akhir menggunakan persamaan 3.16 berikut ini :
- $$D_f^{mfat} = D_{fb}^{mfat} \times F_{CA} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{JB} \times F_{BD} \quad (3.16)$$
- Berikut merupakan penjelasan masing-masing *adjustment factor* di atas :
- Adjustment for Corrective Action, F_{CA}*
 Nilai *adjustment for corrective maintenance* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :
 - *Modification based on complete engineering analysis*, $F_{CA} = 0.002$
 - *Modification based on experience*, $F_{CA} = 0.2$
 - *No Modification*, $F_{CA} = 2$
 - Adjustment for Pipe Complexity, F_{PC}*
 Nilai *adjustment for pipe complexity* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :
 - *0 – 5 total pipe fittings*, $F_{PC} = 0.5$
 - *6 – 10 total pipe fittings*, $F_{PC} = 1$
 - *Greater than 10 total pipe fittings*, $F_{PC} = 2$
 - Adjustment for Condition of Pipe, F_{CP}*
 Nilai *adjustment for condition of pipe* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :
 - *Missing or damaged support, improper support*, $F_{CP} = 2$

- *Broken gussets, gussets welded directly to the pipe, $F_{CP} = 2$*
- *Good condition, $F_{CP} = 1$*
- d. *Adjustment for Joint Type or Branch Design, F_{JB}*
 Nilai *adjustment for joint type or branch design* diambil berdasarkan kriteria dibawah ini :
 - *Threaded, socketweld, saddle on, $F_{JB} = 2$*
 - *Saddle in fittings, $F_{JB} = 1$*
 - *Piping tee, weldolets, $F_{JB} = 0.2$*
 - *Sweepolets, $F_{JB} = 0.02$*
- e. *Adjustment for Branch Diameter, F_{BD}*
 Nilai *adjustment for branch diameter* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :
 - *All branches less than or equal to 2 NPS, $F_{BD} = 1$*
 - *Any branch greater than 2 NPS, $F_{BD} = 0.02$*

1.7 Analisis Consequences

Konsekuensi dalam penilaian API RBI digunakan untuk membantu dalam membuat *ranking equipment* berdasarkan resiko dan juga untuk menetapkan prioritas untuk program inspeksi. Dalam tugas akhir ini analisis konsekuensi yang dipilih adalah konsekuensi berdasarkan area. Prosedur perhitungan konsekuensi untuk tangki (*pressure vessel*) dan pipa ialah sama.

Adapun tahapan-tahapan dalam menghitung konsekuensi ialah :

1. Menentukan pelepasan fluida dan sifat-sifatnya, termasuk fase pelepasannya.

Fluida representatif yang paling sesuai dengan fluida yang terkandung dalam sistem bertekanan akan dievaluasi dan dipilih dari fluida representatif seperti yang ditampilkan pada Tabel B.1 Lampiran B.

- a. Memilih kelompok fluida *representative*

Pemilihan fluida representatif dipengaruhi oleh jenis fluida yang diproses didalam *pressure vessel*. Fluida yang dijadikan objek penelitian dalam tugas akhir ini adalah LPG. Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana, yang termasuk dalam gugus C_3 .

b. Menentukan fase penyimpanan fluida
Fase fluida yang disimpan dalam *pressure vessel* ialah cair atau *stored liquid*.

c. Menentukan sifat-sifat fluida yang disimpan untuk *stored liquid*.

$$\rho = 33.6 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{AIT} = 1157^\circ\text{Rankine}$$

$$\text{NBP} = 370^\circ\text{Rankine}$$

d. Menentukan fase fluida stabil setelah terlepas ke atmosfer.

Fluida yang dianalisis disimpan dalam bentuk cair dan akan berubah fase menjadi gas pada saat terlepas ke udara. Fluida LPG memiliki nilai NBP sebesar (-6.9°F) atau dibawah 80°F , sehingga fase fluida stabil dimodelkan sebagai gas.

2. Memilih set ukuran lubang untuk menentukan kemungkinan konsekuensi pada perhitungan resiko.

Ukuran lubang pelepasan yang ditunjukkan pada Tabel B.4 Lampiran B digunakan pada analisis konsekuensi level 1 dan 2. Pemilihan ukuran lubang pelepasan didasarkan pada tipe peralatan dan ukurannya. *Annex A API 581* memberikan keterangan untuk *pressure vessel*, empat ukuran lubang pelepasan diasumsikan untuk semua ukuran dan tipe *pressure vessel*.

3. Menghitung laju pelepasan

Laju pelepasan bergantung pada sifat-sifat fisik material (fluida), fase awal, kondisi proses pengoperasian, dan ukuran lubang pelepasan yang telah ditentukan. Laju pelepasan dihitung dengan menggunakan persamaan 3.17 apabila tekanan penyimpanan lebih besar dari tekanan transisi.

$$W_n = \frac{c_d}{c_2} x A_n x P_s \sqrt{\left(\frac{k x MW x g c}{R x T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (3.17)$$

Laju pelepasan dapat dihitung menggunakan rumusan 3.18 berikut ini apabila tekanan penyimpanan kurang dari tekanan transisi.

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]} \quad (3.18)$$

- a. Menghitung *constant pressure specific heat capacity*
Constant pressure specific heat capacity dapat dihitung menggunakan persamaan 3.19 berikut ini :

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 \quad (3.19)$$

- b. Menghitung *Ideal Gas Specific Heat Capacity Ratio*
Ideal Gas Specific Heat Capacity Ratio dihitung menggunakan persamaan 3.20 berikut ini :

$$k = \frac{C_p + R}{C_p} \quad (3.20)$$

- c. Menghitung tekanan transisi

Tekanan transisi merupakan tekanan pada saat *flow regime* berubah dari *sonic* menjadi *sub-sonic*. Tekanan transisi dihitung menggunakan persamaan 3.21 di bawah ini :

$$P_{trans} = P_{atm} + \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (3.21)$$

4. Mengestimasi masa total dari fluida yang mungkin terlepas

API RBI memberikan keterangan untuk konsekuensi kegagalan dari sebuah peralatan dievaluasi ialah mengombinasikan dengan adanya peralatan lain yang dapat berkontribusi menambah massa fluida yang terlepas. Massa fluida yang terlepas dapat dihitung menggunakan rumusan 3.22 berikut ini :

$$Mass_{avail} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}] \quad (3.22)$$

Dimana :

Mass_{comp} : massa peralatan yang dianalisis

Mass_{add} : massa tambahan yang dapat terlepas selama 3 menit

Mass_{inv} : massa komponen lain yang terdapat dalam *inventory group*

- a. Menghitung massa komponen, Mass_{comp}, pada peralatan yang dianalisis

Massa komponen dihitung menggunakan rumusan 3.23 di bawah ini :

$$\text{Mass}_{\text{comp}} = \rho \times 50\% \times V \quad (3.23)$$

- b. Menghitung massa pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $\text{Mass}_{\text{comp},i}$.
- c. Menghitung massa total pada *inventory group*, Mass_{inv} .

$$\sum \text{mass}_{\text{inv}} = \sum_{i=1}^n \text{mass}_{\text{comp},i}$$

- d. Menghitung *flow rate* untuk diameter 8 inch menggunakan persamaan 3.24 di bawah ini :

$$W_{\text{max}8} = \frac{C_d}{C_2} \times A_8 \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times gc}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (3.24)$$

- e. Menghitung massa fluida tambahan, $\text{mass}_{\text{add},n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus 3.25 berikut ini :

$$\text{mass}_{\text{add},n} = 180 \times \min[W_n, W_{\text{max}8}] \quad (3.25)$$
 - f. Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 3.22 di atas.
5. Menentukan tipe pelepasan, *continous* atau *instantaneous*, untuk menentukan metode yang digunakan untuk memodelkan dispersi dan konsekuensi.

API RBI memberikan dua pemodelan tipe pelepasan yaitu :

- a. *Instantaneous Release* – pelepasan sesaat atau *puff release* adalah pelepasan yang terjadi dengan sangat cepat sehingga cairan menyebar seperti awan yang besar atau *pool*.
- b. *Continuous Release* – pelepasan terus-menerus atau *plume release* adalah pelepasan yang terjadi selama jangka waktu yang lama, yang memungkinkan cairan untuk menyebar dalam bentuk elips memanjang (tergantung kondisi cuaca).

Besarnya waktu untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan dihitung menggunakan persamaan 3.26 berikut ini :

$$t_n = \frac{c_3}{w_n} \quad (3.26)$$

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi pada besarnya pelepasan

Perusahaan pengolahan petrokimia, biasanya memiliki berbagai sistem deteksi, isolasi, dan mitigasi yang dirancang untuk mengurangi efek dari pelepasan bahan-bahan berbahaya. Tabel B.5 Lampiran B menunjukkan kriteria sistem deteksi dan isolasi.

- a. Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis support yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

- b. Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan Tabel A.6

Dari penjelasan langkah 1 di atas maka dapat ditentukan klasifikasi sistem deteksi yaitu B.

- c. Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan Tabel A.6 lampiran C.

Berdasarkan penjelasan di langkah 1 dapat ditentukan klasifikasi sistem isolasi ialah B.

- d. Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan Tabel B.6 Lampiran B

Dari Tabel B.6 Lampiran B untuk sistem deteksi B dan sistem isolasi B nilai *reduction factor*, $fact_{di}$, adalah 0.15

- e. Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, $Id_{max,n}$, menggunakan Tabel B.7 Lampiran B.

Nilai durasi kebocoran dari Tabel B.7 Lampiran B, dapat disimpulkan :

- Id_{max} untuk ¼ inch : 40 menit
- Id_{max} untuk 1 inch : 30 menit
- Id_{max} untuk 4 inch : 20 menit

7. Menentukan laju pelepasan dan masa untuk analisis konsekuensi

Perhitungan pada tipe pelepasan *continuous*, pelepasan dimodelkan sebagai *steady state plume*. Oleh karena itu, laju pelepasan (lb/s) digunakan sebagai input analisis konsekuensi. Sedangkan untuk pelepasan sesaat, massa pelepasan digunakan dalam melakukan analisis. Rumusan 3.27 berikut ini digunakan dalam menghitung laju pelepasan *continuous release*.

$$\text{Rate}_n = W_n (1 - \text{fact}_{di}) \quad (3.27)$$

Rumusan 3.28 di bawah ini digunakan untuk menghitung masa pelepasan *instantaneous release*.

$$\text{Mass}_n = \min [(\text{rate}_n \times \text{Id}_n), \text{mass}_{\text{avail},n}] \quad (3.28)$$

Dimana :

Rate_n : laju pelepasan (lb/s)

Id_n : durasi kebocoran (*second*)

- a. Menghitung laju pelepasan, rate_n , untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 2.35 di atas.

Rumusan diatas digunakan untuk menghitung laju pelepasan apabila tipe pelepasannya adalah *continuous release*.

- b. Menghitung durasi kebocoran, Id_n , menggunakan rumusan 3.29 berikut :

$$\text{Id}_n = \min \left[\left(\frac{\text{mass}_{\text{avail},n}}{\text{rate}_n} \right), (60 \times \text{Id}_{\text{max},n}) \right] \quad (3.29)$$

Durasi kebocoran, Id_n , diaplikasikan pada tipe pelepasan *instantaneous release*.

- c. Menghitung massa pelepasan, mass_n , untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 2.3 di atas.

8. Menghitung konsekuensi kebakaran/ledakan

Konsekuensi area diestimasikan dari perhitungan laju pelepasan (untuk pelepasan *continuous*) atau masa pelepasan (untuk pelepasan *instantaneous*).

- a. Menghitung konsekuensi area *component damage*

Konsekuensi area *component damage* dibedakan menjadi 4, yaitu :

- *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 2.38 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = a(rate_n)^b \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (3.30)$$

- *Auto-ignition Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 3.31 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} = a(rate_n)^b \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (3.31)$$

- *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 3.32 berikut ini :

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} = \min[\{a (mass_n)^b\}, C_7] \cdot \left(\frac{1-fact_{mit}}{eneff_n}\right) \quad (3.32)$$

- *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 3.33 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST} = \min[\{a (mass_n)^b\}, C_7] \cdot \left(\frac{1-fact_{mit}}{eneff_n}\right) \quad (3.33)$$

b. Menghitung konsekuensi area personel injury

- *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 3.34 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AINL-CONT} = [a (effrate_n^{AINL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (3.34)$$

- *Auto-ignition Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 3.35 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AIL-CONT} = [a (effrate_n^{AIL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (3.35)$$

- *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 3.36 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AINL-INST} = [a (effrate_n^{AINL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1-fact_{mit}}{eneff_n}\right) \quad (3.36)$$

- *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 3.37 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AIL-INST} = [a (effrate_n^{AIL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1-fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (3.37)$$

- c. Menghitung *instantaneous/continuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan persamaan 3.38, 3.39, atau 3.40 yang sesuai.

- Nilai *blending factor* untuk tipe pelepasan *continuous* dihitung menggunakan persamaan 3.38 berikut ini :

$$fact_n^{IC} = \min \left[\left\{ \frac{rate_n}{C_5} \right\}, 1.0 \right] \quad (3.38)$$

Dengan nilai $C_5 = 55.6$

- Nilai *blending factor instantaneous* apabila konstanta tidak disediakan dalam tabel 5.8 atau 5.9 maka nilai digunakan persamaan 3.39 di bawah ini :

$$fact_n^{IC} = 0.0 \quad (3.39)$$

- Nilai *blending factor* untuk pelepasan *instantaneous* tidak disediakan, sehingga digunakan persamaan 3.40 di bawah ini :

$$fact_n^{IC} = 1.0 \quad (3.40)$$

- d. Menghitung *AIT blending factor* menggunakan rumusan 3.41, 3.42, dan 3.43 yang sesuai.

$$fact^{AIT} = 0 \quad (3.41)$$

apabila $T_s + C_6 \leq AIT$

$$fact^{AIT} = \frac{(T_s - AIT + C_6)}{2 \times C_6} \quad (3.42)$$

apabila $T_s + C_6 > AIT > T_s - C_6$

$$fact^{AIT} = 1 \quad (3.43)$$

apabila $T_s - C_6 \geq AIT$

Dimana :

$T_s = 555^\circ \text{Rankine}$

$C_6 = 100$

$AIT = 1157^\circ \text{Rankine}$

$T_s + C_6 = 655^\circ \text{Rankine}$

$T_s - C_6 = 455^\circ \text{Rankine}$

- e. Menghitung *continuous/instantaneous blended consequence area* menggunakan rumusan 3.44 sampai 3.47 berdasarkan konsekuensi area yang sudah dihitung sebelumnya.

$$CA_{cmd,n}^{AIL} = CA_{cmd,n}^{AIL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (3.44)$$

$$CA_{cmd,n}^{AINL} = CA_{cmd,n}^{AINL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (3.45)$$

$$CA_{inj,n}^{AIL} = CA_{inj,n}^{AIL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AIL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (3.46)$$

$$CA_{inj,n}^{AINL} = CA_{inj,n}^{AINL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AINL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (3.47)$$

- f. Menghitung *AIT blended consequence area* untuk kerusakan komponen menggunakan rumusan 3.48 dan untuk cedera personel dengan menggunakan rumusan 3.49 di bawah ini.

$$CA_{cmd,n}^{flam} = CA_{cmd,n}^{AIL} \times fact^{AIT} + CA_{cmd,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (3.48)$$

$$CA_{inj,n}^{flam} = CA_{inj,n}^{flam-AIL} \times fact^{AIT} + CA_{inj,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (3.49)$$

9. Menghitung konsekuensi *toxic*

Konsekuensi keracunan dihitung apabila terdapat kandungan asam sulfida (H_2S) dalam fluida yang dianalisis. Fluida LPG tidak memiliki kandungan asam sulfida, sehingga konsekuensi *toxic* tidak perlu dihitung.

10. Menghitung *non-flammable, non-toxic consequence*

Konsekuensi *non-flammable* dan *non-toxic* dihitung pada fluida yang tidak mudah terbakar dan tidak beracun, namun berbahaya. Salah satu contohnya ialah kabut. Fluida yang dianalisis dalam tugas akhir ini ialah LPG. Fluida LPG merupakan fluida yang tidak berwarna namun mudah terbakar, sehingga tidak termasuk dalam kategori ini.

11. Menentukan probabilitas kerusakan akhir peralatan dan cedera personel

Konsekuensi area untuk kerusakan komponen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.50 berikut ini :

$$CA_{cmd}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times CA_{cmd,n}^{flam}}{gff_{total}} \right) \quad (3.50)$$

Konsekuensi area untuk cedera personel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.51 berikut ini :

$$CA_{inj}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times CA_{inj,n}^{flam}}{gff_{total}} \right) \quad (3.51)$$

12. Menghitung konsekuensi akhir

Konsekuensi area akhir untuk kerusakan komponen dihitung dengan persamaan 3.52 berikut ini :

$$CA_{cmd} = \max[CA_{cmd}^{flam}, CA_{cmd}^{tox}, CA_{cmd}^{nfnt}] \quad (3.52)$$

Konsekuensi area akhir untuk cedera personel dihitung dengan persamaan 3.53 berikut ini :

$$CA_{inj} = \max[CA_{inj}^{flam}, CA_{inj}^{tox}, CA_{inj}^{nfnt}] \quad (3.53)$$

Konsekuensi akhir dihitung menggunakan rumusan 3.54 di bawah ini :

$$CA = \max[CA_{cmd}, CA_{inj}] \quad (3.54)$$

3.8. Penentuan Tingkat Resiko

Resiko didapatkan dari hasil perkalian probabilitas kegagalan dengan konsekuensi kegagalan. Penentuan tingkat resiko dilakukan dengan membandingkan nilai resiko yang didapatkan dengan *risk target*. Apabila hasil perbandingan menunjukkan bahwa resiko lebih besar dari *risk target*, maka akan dilakukan langkah mitigasi. Langkah mitigasi dapat dilakukan dengan cara melakukan inspeksi sesuai dengan jadwal dan metode yang diharapkan dapat meminimalkan nilai resiko tersebut.

1.9. Inspection Planning

Inspection planning dikembangkan dari analisis beberapa sumber data. Pemeriksaan atau inspeksi harus dijadwalkan pada interval dengan mempertimbangkan hal-hal berikut ini (API RP 510, 2006) :

a. Tipe kerusakan (*type of damage*)

Tipe kerusakan dapat dilihat pada API 581 berdasarkan *damage factor* dan mempertimbangkan juga API 571 untuk karakteristik *damage mechanism*.

b. *Corrosion rate*

Corrosion rate merupakan laju korosi pada *damage mechanism* tersebut. *Corrosion rate* dihitung dengan menggunakan rumusan 3.2 seperti yang telah disebutkan dalam langkah perhitungan sebelumnya.

c. Peluang metode NDE untuk mengidentifikasi kerusakan.

d. Interval maksimum seperti yang ditetapkan pada *code* dan *standart*.

3.9. Analisis *Remaining Life*

Remaining life dapat dihitung menggunakan persamaan 3.55 berikut ini :

$$remaininglife = \frac{t_{actual} - t_{required}}{corrosionrate} \quad (3.55)$$

Dimana :

T_{actual} : ketebalan pada inspeksi saat ini, inch

$T_{required}$: ketebalan minimum yang seharusnya dimiliki oleh *pressure vessel*

3.10. Analisis efektifitas inspeksi

Setelah dianalisis *remaining life* yang dimiliki oleh *pressure vessel*, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis keefektifitasan inspeksi. Analisis ini dilakukan dengan batasan pengoperasian selama 20 tahun.

3.11. Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir ialah pengambilan keputusan dari hasil analisis efektifitas inspeksi. Pada tahapan terakhir ini nantinya akan diambil kesimpulan dari serangkaian analisis tugas akhir ini. Pada tahapan ini juga akan dirumuskan usulan-usulan atau saran yang dapat dijadikan referensi pengambilan keputusan selanjutnya.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

1.1 DATA

Data-data yang lengkap dibutuhkan dalam perhitungan *risk based inspection* (RBI). Data-data tersebut meliputi desain dan konstruksi *vessel*, data operasional *vessel*, data fluida gas yang disimpan didalam *vessel*, data inspeksi dan data-data lain yang mendukung dalam tugas akhir ini.

Data-data tersebut akan diolah sesuai dengan rumusan perhitungan yang terdapat pada API 581 baik dalam perhitungan *probability of failure* maupun *consequence of failure*. Data-data yang dibutuhkan dalam analisis dapat dilihat pada Tabel A.6 lampiran A, Tabel A.9 lampiran A, dan tabel A.13 lampiran A. Tabel 4.1 sampai 4.4 menunjukkan data pada masing-masing *pressure vessel*. Di bawah ini merupakan penjelasan lebih detail mengenai data-data yang akan dianalisis :

1.1.1 Data konstruksi dan operasi *pressure vessel*

Data konstruksi dan operasional *pressure vessel* dibutuhkan dalam melakukan *screening damage mechanism*. Data-data yang dibutuhkan meliputi :

1. *Start date*

Merupakan identitas mengenai waktu operasional pertama baik tanggal, bulan, maupun tahun awal. *Start date* digunakan dalam perhitungan *remaining life pressure vessel*.

2. *Component Geometry*

Component geometry merupakan data ukuran *pressure vessel* baik berupa panjang, lebar, tinggi, diameter, volum, dll. *Pressure vessel* yang dimiliki oleh TLS berupa bola, sehingga dimensi yang dimiliki berupa diameter dan volum fluida yang disimpan di dalam *pressure vessel*.

3. *Design code*

Standart design yang digunakan oleh TLS ialah ASME VIII Div. 2. *Design code* ini nantinya akan digunakan dalam perhitungan *wall thickness pressure vessel*.

4. *Design pressure*

Merupakan tekanan maksimum yang dapat ditahan oleh *pressure vessel*. Selama pengoperasian *pressure vessel* tekanan yang dihasilkan tidak boleh melebihi tekanan maksimumnya. Apabila tekanan operasional melebihi tekanan maksimum maka akan terjadi disintegritas *pressure vessel* berupa ledakan. Data *design pressure* dibutuhkan sebagai acuan dalam menentukan besarnya tekanan maksimum yang dibutuhkan.

5. *Design temperature*

Sama dengan *design pressure*, *design temperature* merupakan batas suhu maksimal yang dapat ditahan oleh *pressure vessel*. Suhu operasional juga tidak boleh melebihi suhu maksimalnya.

6. *Hydrostatic test*

Merupakan hasil pengujian hidrostatik sebelum *pressure vessel* dioperasikan. *Hydrostatic test* atau disebut juga *shop test* menunjukkan kemampuan *pressure vessel* dalam menahan tekanan sampai dengan batas maksimal yang diizinkan.

7. *Cladding*

Cladding ialah pelapisan tambahan pada peralatan. Adanya *cladding* akan mempengaruhi hasil perhitungan analisis *probability*. *Pressure vessel* milik TLS tidak memiliki *cladding* sehingga tidak perlu diperhitungkan.

8. *Coating*

Coating merupakan pelapisan luar pada peralatan yang dapat berupa *painting* maupun *wrapping*. Tabel dibawah ini merupakan data kondisi konstruksi dan operasional *pressure vessel*.

Tabel 4. 1 Data *pressure vessel* V110

<i>Equipment Data</i>	
<i>Equipment Name</i>	: <i>LPG Storage Tank</i>
<i>Vessel Type</i>	: <i>Spherical Tank</i>
<i>Serial No.</i>	: <i>V - 110</i>
<i>Inside Diameter</i>	: <i>21.214 mm</i>

Tabel 4. 1 Data *pressure vessel V110* (lanjutan)

<i>Operating Temperature</i>	: 35°C
<i>Volume of Fluid</i>	: 5000 liter
<i>Year Built</i>	: 2009
<i>Design Code</i>	: ASME Sec. VIII Div. 2
<i>Design Pressure</i>	: 17.2 barg
<i>Design Temperature</i>	: 70°C
<i>Operating Pressure</i>	: 12.07 barg
<i>MAWP</i>	: 18.429
<i>Hydrostatic Test</i>	: 22.41 barg
<i>Cladding</i>	: No
<i>Coating</i>	: Painting
<i>Joint Efficiency</i>	: 1
<i>Material of Shell</i>	: SA516 - 70
<i>Nominal Thickness</i>	: 59.7 – 62.9 mm
<i>Corrosion Allowance</i>	: 1.25 mm

Tabel 4. 2 Data *pressure vessel V120*

<i>Equipment Data</i>	
<i>Equipment Name</i>	: LPG Storage Tank
<i>Vessel Type</i>	: Spherical Tank
<i>Serial No.</i>	: V - 120
<i>Inside Diameter</i>	: 21.214 mm
<i>Volume of Fluid</i>	: 5000 liter
<i>Year Built</i>	: 2009
<i>Design Code</i>	: ASME Sec. VIII Div. 2
<i>Design Pressure</i>	: 17.2 barg
<i>Design Temperature</i>	: 70°C
<i>Operating Pressure</i>	: 12.07 barg
<i>Operating Temperature</i>	: 35°C
<i>MAWP</i>	: 18.429
<i>Hydrostatic Test</i>	: 22.41 barg
<i>Cladding</i>	: No
<i>Coating</i>	: Painting

<i>Joint Efficiency</i>	<i>: 1</i>
-------------------------	------------

Tabel 4.2 Data *pressure vessel V120 (lanjutan)*

<i>Equipment Data</i>	
<i>Material of Shell</i>	<i>: SA516 - 70</i>
<i>Nominal Thickness</i>	<i>: 59.7 – 62.9 mm</i>
<i>Corrosion Allowance</i>	<i>: 1.25 mm</i>

Tabel 4. 3 Data *pressure vessel V130*

<i>Equipment Data</i>	
<i>Equipment Name</i>	<i>: LPG Storage Tank</i>
<i>Vessel Type</i>	<i>: Spherical Tank</i>
<i>Serial No.</i>	<i>: V - 130</i>
<i>Inside Diameter</i>	<i>: 21.214 mm</i>
<i>Volume of Fluid</i>	<i>: 5000 liter</i>
<i>Year Built</i>	<i>: 2009</i>
<i>Design Code</i>	<i>: ASME Sec. VIII Div. 2</i>
<i>Design Pressure</i>	<i>: 17.2 barg</i>
<i>Design Temperature</i>	<i>: 70°C</i>
<i>Operating Pressure</i>	<i>: 12.07 barg</i>
<i>Operating Temperature</i>	<i>: 35°C</i>
<i>MAWP</i>	<i>: 18.429</i>
<i>Hydrostatic Test</i>	<i>: 22.41 barg</i>
<i>Cladding</i>	<i>: No</i>
<i>Coating</i>	<i>: Painting</i>
<i>Joint Efficiency</i>	<i>: 1</i>
<i>Material of Shell</i>	<i>: SA516 - 70</i>
<i>Nominal Thickness</i>	<i>: 59.7 – 62.9 mm</i>
<i>Corrosion Allowance</i>	<i>: 1.25 mm</i>

Tabel 4. 4 Data *pressure vessel V140*

<i>Equipment Data</i>	
<i>Equipment Name</i>	<i>: LPG Storage Tank</i>
<i>Vessel Type</i>	<i>: Spherical Tank</i>
<i>Serial No.</i>	<i>: V - 140</i>
<i>Inside Diameter</i>	<i>: 21.214 mm</i>

<i>Volume of Fluid</i>	: 5000 liter
------------------------	--------------

Tabel 4.3 Data *pressure vessel* V130 (lanjutan)

<i>Year Built</i>	: 2009
<i>Design Code</i>	: ASME Sec. VIII Div. 2
<i>Design Pressure</i>	: 17.2 barg
<i>Design Temperature</i>	: 70°C
<i>Operating Pressure</i>	: 12.07 barg
<i>Hydrostatic Test</i>	: 22.41 barg
<i>Operating Temperature</i>	: 35°C
<i>MAWP</i>	: 18.429
<i>Cladding</i>	: No
<i>Coating</i>	: Painting
<i>Joint Efficiency</i>	: 1
<i>Material of Shell</i>	: SA516 - 70
<i>Nominal Thickness</i>	: 59.7 – 62.9 mm
<i>Corrosion Allowance</i>	: 1.25 mm

1.1.2. Data komposisi fluida (LPG)

Fluida gas yang disimpan dalam *pressure vessel* ialah LPG. Tabel 4.5 dibawah ini menunjukkan komposisi kandungan hidrokarbon dalam LPG.

Tabel 4. 5 Komposisi kandungan LPG

Nama unsur bahan produksi	Kandungan (%)
Butana	68
Propana	30
Pentana	2

Jenis hidrokarbon terbesar yang dikandung oleh LPG ialah butana. Butana merupakan gas cair yang tidak berwarna dan sangat mudah terbakar/meledak apabila terjadi kontak dengan api. Maka dari itu untuk dapat mendeteksi apabila terjadi kebocoran, LPG diberi pembau berupa etil merkaptan. Tabel 4.6 dibawah ini menunjukkan data karakteristik etil merkaptan.

Tabel 4. 6 Karakteristik etil merkaptan

Karakteristik etil merkaptan

<i>Density</i>	: 0.89
<i>Vapour pressure</i>	: 535 HPA

Tabel 4.6 Karakteristik etil merkaptan (lanjutan)

<i>Vapour density</i>	: 2.1
<i>Boiling point</i>	: 35°C
<i>Freezing point</i>	: -148°C
<i>Flashpoint</i>	: -45°C

1.2 Identifikasi *Damage Mechanism*

Damage mechanism atau mekanisme kerusakan merupakan penyebab suatu peralatan mengalami kerusakan atau disintegritas. API 581 memberikan 21 jenis *damage mechanism* seperti yang ditunjukkan pada Tabel A.3 lampiran A. Pemilihan tipe *damage mechanism* dilakukan dengan melakukan *screening* terhadap komposisi material penyusun *pressure vessel*, fluida yang diproses/disimpan di dalam *pressure vessel*, lingkungan proses sekitar *pressure vessel*, dan kondisi lain yang turut mempengaruhi pada *screening damage mechanism*.

Tipe *damage mechanism* yang dipilih merupakan penyebab kerusakan tertinggi yang paling mempengaruhi kinerja *pressure vessel*. *Pressure vessel* yang dianalisis tersusun dari material *carbon steel* (SA516 grade 70). Fluida yang disimpan ialah LPG, yang tidak mengandung asam sulfida, tidak mengandung air dan CO₃. Perlindungan *coating* berupa *painting* dan kondisi *wrapping* masih cukup baik. Suhu operasi berada pada 35°C dan tekanan operasional sebesar 12.07 barg.

Dilihat dari kondisi di atas, maka tipe *damage mechanism* yang paling sesuai adalah *thinning*. Namun apabila ditinjau dari kondisi eksternal lokasi sekitar yang berada pada daerah laut dengan curah hujan yang cukup tinggi, maka *external damage mechanism* juga turut mempengaruhi kondisi *pressure vessel*. Sehingga tipe *damage mechanism* adalah *multiple damage mechanism* antara *thinning* dan *external*. Hasil *screening damage mechanism* dapat dilihat pada lampiran A Tabel A.4.

Screening damage factor di atas tidak dilakukan untuk pipa. Penentuan tipe *damage mechanism* untuk pipa berdasarkan API RBI 581 ialah *piping mechanical fatigue damage factor*.

1.3 Analisis Resiko

1.3.1. Analisis probabilitas kegagalan

Probabilitas kegagalan dipengaruhi oleh nilai *damage factor* total, maka dari itu terlebih dahulu harus menghitung nilai *damage factor* untuk *multiple damage factor*. Langkah-langkah dalam menghitung *damage factor* yaitu sebagai berikut :

1. Menghitung nilai *damage factor* untuk *thinning*

- a. Menentukan angka inspeksi dan kategori efektifitas inspeksi yang sesuai dengan menggunakan paragraf 5.5.2 API 581 untuk semua inspeksi yang telah dilakukan.

Angka inspeksi diartikan sebagai banyaknya inspeksi yang telah dilakukan, terhitung sejak dioperasikannya *pressure vessel* sampai inspeksi terakhir yang dilakukan. TLS telah melakukan sebanyak 2 kali inspeksi, sehingga dapat disimpulkan angka inspeksinya adalah 2.

Tabel A.7 lampiran A menunjukkan lima kategori efektifitas inspeksi yaitu kategori A, B, C, D, dan E. Masing-masing kategori memiliki kriteria inspeksi. Penentuan kategori tersebut didasarkan pada metode inspeksi yang dilakukan oleh perusahaan. Di TLS inspeksi *intrusive* dilakukan secara visual dan dilakukan pengukuran ketebalan, namun tidak dilakukan pemeriksaan internal. Dari metode inspeksi tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa kategori efektifitas inspeksi adalah C, *fairly effective*.

- b. Menentukan umur inspeksi sejak inspeksi terakhir.

Umur inspeksi dapat didefinisikan sebagai selisih waktu tanggal analisis RBI dengan tanggal inspeksi terakhir. Rumusan 4.1 dibawah ini digunakan untuk menghitung umur inspeksi.

$$\begin{aligned} age_{RBI} &= RBI\ date - current\ insp. & (4.1) \\ &= 22\text{Februari } 2016 - 12\text{ September } 2009 \\ &= 6.5\text{years} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan usia RBI, selanjutnya menghitung usia perencanaan pengoperasian. Dalam tugas akhir ini *pressure vessel* dianalisis dalam 20 tahun pengoperasian, sehingga :

RBI date = 22 Februari 2016

Plan date = 22 Februari 2036

Age = 20 years

c. Menentukan laju korosi untuk *base metal* ($C_{r,bm}$)

Laju korosi didapatkan dengan 3 cara yaitu :

- Menanyakan kepada perusahaan
- Mengukur nilai laju korosi pada saat dilakukan inspeksi
- Menghitung nilai laju korosi sesuai dengan aturan Annex 2B API 581.

Laju korosi dipengaruhi oleh suhu penyimpanan, tekanan penyimpanan, fluida yang disimpan, dan material penyusun *pressure vessel*. Annex 2B API 581 memberikan 13 kriteria penyebab laju korosi. Penentuan laju korosi dilakukan dengan cara melakukan *screening* pada masing-masing kriteria. Tipe laju korosi pada analisis tugas akhir ini ialah CO_2 *corrosion*. Laju korosi untuk CO_2 *corrosion* dapat dihitung menggunakan persamaan 4.2 berikut ini :

$$CR_{base} = f(T, pH) \times f_{CO_2}^{0.62} \times \left(\frac{S}{19}\right)^{0.146 + 0.0324 \cdot f_{CO_2}} \quad (4.2)$$

Dimana :

CR_{base} : *corrosion rate* (mm/years)

$f(T, pH)$: nilai dari *temperature-pH*

$f_{CO_2}^{0.62}$: *fugacity* CO_2 (bar)

S : *shear stress* (Pa)

- Menghitung pH

pH dapat dihitung dengan menggunakan rumusan 4.2.1 berikut ini :

$$pH = 2.8686 + 0.7931 \times \log_{10}[T] - 0.57 \times \log_{10}[p_{CO_2}] \quad (4.2.1)$$

Dimana

T = 95°C

p_{CO_2} = 58.015 psi

Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 2.8686 + 0.7391 \times \log_{10} 95 - 0.57 \times \\ &\quad \log_{10} 58.015 \\ &= 3.43 \sim 3.5 \end{aligned}$$

Nilai $f(T, \text{pH})$ didapatkan dengan melakukan interpolasi nilai pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4. 7 Interpolasi nilai $f(T, \text{pH})$

data	Suhu (°F)	$F_{(T, \text{pH})}$
1	86	8.52
2	95	?
3	104	10.98

$$\begin{aligned} \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{y - 8.52}{10.98 - 8.52} &= \frac{95 - 86}{104 - 86} \\ y &= 9.75 \end{aligned}$$

- Menghitung *fugacity* CO_2

Fugacity CO_2 dihitung menggunakan persamaan 4.2.2 di bawah ini :

$$\log_{10}[f_{\text{CO}_2}] = \log_{10}[p_{\text{CO}_2}] + \log_{10}[a] \quad (4.2.2)$$

Dimana

$$p_{\text{CO}_2} = 3.99 \text{ bar}$$

$$a = 0.996$$

Sehingga

$$\begin{aligned} \log_{10}[f_{\text{CO}_2}] &= \log_{10}(3.99) + \log_{10}(0.996) \\ &= 1.8 + (-0.48) \\ &= 1.32 \end{aligned}$$

$$f_{\text{CO}_2} = 0.12 \text{ bar}$$

- Menghitung *shear stress*

Shear stress dihitung menggunakan persamaan 4.2.3 berikut ini :

$$S = \frac{f \times \rho_m \times \mu_m}{2} \quad (4.2.3)$$

Dimana :

$$f = \text{friction factor} \\ = 0.0497$$

$$\rho_m = \text{mixture mass density} \\ = 2.67 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_m = \text{mixture flow velocity} \\ = 8.1 \text{ m/s}$$

Sehingga

$$S = \frac{0.0497 \times 2.67 \times 8.1}{2} \\ = 0.5375 \text{ Pa}$$

Didapatkan :

$$CR_{base} = 9.75 \times 0.027 \times 0.5375 \\ = 0.54 \text{ mm/years}$$

- d. Menentukan *minimum required wall thickness* (t_m)

Minimum required wall thickness dihitung dengan menggunakan *design code* yang digunakan yaitu ASME VIII div 2. Rumusan 4.3 digunakan untuk menghitung *minimum wall thicknes*:

$$t_{min} = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad (4.3)$$

Dimana :

$$P : \text{Design pressure (MPa)} \\ : 17.02 \text{ barg} = 1.72 \text{ MPa}$$

$$R : \text{Inside radius in the corroded condition}$$

Dihitung menggunakan rumusan 4.3.1 di bawah ini :

$$R_c = \frac{D_i + 2.CA}{2} \quad (4.3.1) \\ = \frac{21216 + 2.5}{2} \\ = 10609.25 \text{ mm}$$

$$S : \text{Maximum allowable stress (MPa)}$$

$$: 170 \text{ MPa}$$

$$E : \text{Joint efficiency}$$

$$: 1$$

Sehingga

$$\begin{aligned} t_{min} &= \frac{1.72 \times 10609.25}{2 \times 170 \times 1 - 0.2 \times 1.72} \\ &= \frac{18247.91}{339.66} \\ &= 53.72 \text{ mm} \end{aligned}$$

- e. Perhitungan umur untuk peralatan yang memiliki *cladding*

Umur peralatan dengan perlindungan berupa *cladding* dihitung dengan rumusan 4.4 dibawah ini :

$$\text{age}_{rc} = \max \left[\left(\frac{t_{rd} - t}{C_{r,cm}} \right), 0, 0 \right] \quad (4.4)$$

Pressure vessel yang dianalisis tidak memiliki *cladding* sehingga perhitungan ini dapat diabaikan.

- f. Menentukan A_{rt} (parameter *damage factor*)

Parameter *damage factor* (A_{rt}) dapat dihitung dengan persamaan 4.5 dibawah ini :

$$A_{rt} = \max \left[\left(1 - \frac{t_{act} - (C_{r,bm} \times \text{age})}{t_{min} + CA} \right), 0, 0 \right] \quad (4.5)$$

dengan nilai

$$CA : 0.125 \text{ mm} = 0.00492 \text{ inch}$$

Jadi,

- Art pada *RBI date* :

$$\begin{aligned} A_{rt} &= \max \left[\left(1 - \frac{58.7 - (0.54 \times 6.5)}{53.72 + 1.25} \right), 0, 0 \right] \\ &= \max (0.0, 0.0) \\ &= 0.0 \end{aligned}$$

- Art pada *plan date*

$$\begin{aligned} A_{rt} &= \max \left[\left(1 - \frac{58.7 - (0.54 \times 26.5)}{53.72 + 1.25} \right), 0, 0 \right] \\ &= \max (0.12, 0.0) \\ &= 0.13 \end{aligned}$$

- g. Menentukan nilai *base damage factor* (d_f^{thin})

Nilai *base damage factor* ditentukan dari nilai A_{rt} , kategori efektifitas inspeksi, dan angka inspeksi. Hasil analisis dalam tugas akhir ini dengan angka inspeksi 2, kategori efektifitas inspeksi C, dan nilai Art pada *RBI date* adalah 0 sehingga nilai *base damage factor* adalah 1.

Sedangkan untuk nilai *base damage factor* pada *plan date* dengan nilai Art 0.13, karena nilai tersebut tidak dicantumkan pada Tabel A.8 lampiran A, maka harus dilakukan interpolasi data berikut ini :

Tabel 4. 8 Data *damage factor*

Data	Art (x)	DF (y)
1	0.12	2
Plan date	0.13	?
2	0.14	6

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{y - 2}{6 - 2} = \frac{0.13 - 0.12}{0.14 - 0.12}$$

$$\frac{y - 2}{4} = \frac{0.01}{0.02}$$

$$\frac{y - 2}{4} = 0.5$$

$$y - 2 = 2$$

$$y = 4$$

$$y = 4$$

Jadi nilai *damage factor* pada *RBI date* adalah 4

- h. Menentukan nilai *damage factor* untuk *thinning*

Nilai *damage factor for thinning* dihitung dengan rumusan 4.6 di bawah ini :

$$D_f^{thin} = \frac{FIP \times FDL \times FWD \times FSM \times FAM}{FOM} \quad (4.6)$$

Sehingga,

- *Damage factor total* pada *RBI date*

$$D_f^{thin} = \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5}{1}$$

$$= 5$$

- *Damage factor total* pada *plan date*

$$D_f^{thin} = \frac{4 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5}{1}$$

$$= 20$$

2. Menentukan nilai *damage factor* untuk *external*

- a. Menentukan angka inspeksi dan kategori efektivitas inspeksi yang sesuai dengan paragraf 5.5.2 API 581 untuk semua inspeksi yang telah dilakukan.

Angka inspeksi diartikan sebagai banyaknya inspeksi yang telah dilakukan, terhitung sejak dioperasikannya

pressure vessel sampai inspeksi terakhir yang dilakukan. TLS telah melakukan sebanyak 2 kali inspeksi, sehingga dapat disimpulkan angka inspeksinya adalah 2.

Tabel A.10 menunjukkan lima kategori efektifitas inspeksi yaitu kategori A, B, C, D, dan E. Masing-masing kategori memiliki kriteria inspeksi. Penentuan kategori tersebut didasarkan pada metode inspeksi yang dilakukan oleh perusahaan. Inspeksi yang diterapkan oleh TLS ialah inspeksi visual bagian luar *pressure vessel* dengan pengukuran ketebalan di 8 titik. Diasumsikan inspeksi visual hanya lebih dari 5% bagian *pressure vessel*, sehingga kategori efektifitas inspeksi ialah D, *poorly effective*.

b. Menentukan umur inspeksi sejak inspeksi terakhir.

Umur inspeksi dapat didefinisikan sebagai selisih waktu antara inspeksi sebelumnya dengan inspeksi terakhir. Usia inspeksi dapat dihitung dengan menggunakan rumusan 4. 7 berikut ini :

$$\begin{aligned} age &= RBI\ date - current\ insp. & (4.7) \\ &= 22\text{Februari } 2016 - 12\text{ September } 2009 \\ &= 6.5\text{ years} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan usia RBI, selanjutnya menghitung usia perencanaan pengoperasian. Dalam tugas akhir ini *pressure vessel* dianalisis dalam 20 tahun pengoperasian, sehingga :

$$\begin{aligned} RBI\ date &= 22\text{ Februari } 2016 \\ Plan\ date &= 22\text{ Februari } 2036 \\ Age &= 20\text{ years} \end{aligned}$$

c. Menentukan *time-in service*, age_{coat}

Umur *coating* dihitung dengan menggunakan persamaan 4.8 dibawah ini :

$$age_{coat} = \max [0, coating\ instalation\ date - date](4.8)$$

Pengaplikasian *coating* dilakukan dengan *multiple coating*, sehingga termasuk *high coating*. Umur *coating* untuk kategori *high coating* dihitung dengan rumusan 4.9 di bawah ini :

$$date = coating\ inst.\ date + 15\ years \quad (4.9)$$

$$= 12\ September\ 2009 + 15$$

$$= 12\ September\ 2024$$

Sehingga,

$$age_{coat} = \max [0, -8]$$

$$= 0\ years$$

d. Menentukan *time-in service*, *age*

Usia inspeksi diambil dari nilai usia waktu inspeksi dan usia pelapisan (*coating*) dipilih mana yang paling kecil. Persamaan 4.10 dibawah ini digunakan untuk menghitung *time-in service* :

$$age = \min [age_{tk}, age_{coat}] \quad (4.10)$$

$$= \min [6.5, 0]$$

$$= 0\ years$$

e. Menentukan laju korosi dasar (C_{rB})

Laju korosi dasar (C_{rB}) dipengaruhi oleh *the driver* dan suhu operasi. *The driver* didefinisikan sebagai kondisi atmosfer lingkungan yang dapat menyebabkan laju korosi. *Pressure vessel* yang dianalisis berada di sekitar laut, sehingga *the driver* termasuk ke dalam kategori *marine/cooling tower drift area*. Suhu operasinya berada pada 35°C atau sekitar 32°C. sehingga nilai laju korosinya:

$$C_{rB} = 0.127\ mm/years$$

$$= 0.005\ inch/years$$

f. Menentukan laju korosi akhir (Cr)

Nilai laju korosi akhir dihitung dengan menggunakan rumusan 4.11 berikut ini :

$$Cr = C_{rB} \times \max [F_{PS}, F_{IP}] \quad (4.11)$$

Nilai faktor tambahan didapatkan dengan ketentuan dibawah ini :

- Nilai untuk *pipe supports*, F_{PS}

Apabila pipa didukung oleh penyangga secara langsung atau oleh konfigurasi lain yang perawatan *coating* tidak sesuai, maka $F_{PS} = 2$; jika tidak $F_{PS} = 1$.

- Nilai untuk *interface*, F_{IP}
Apabila pipa memiliki sebuah penghubung yang masuk ke dalam tanah atau air, maka $F_{IP} = 2$; jika tidak $F_{IP} = 1$.

Sehingga

$$Cr = 0.127 \times \max [2, 2] \\ = 0.508 \text{ mm/years}$$

g. Menentukan *minimum required wall thickness* (t_{min})

Minimum required wall thickness dihitung dengan menggunakan *design code* yang digunakan dalam mendesain *pressure vessel*. Dalam analisis ini digunakan ASME *Section VIII Div II*, dengan rumusan 4.12 *minimum required wall thickness* :

$$t_{min} = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad (4.12)$$

Dimana :

P : *Design pressure* (MPa)

: 17.02 barg = 1.72 MPa

R : *Inside radius in the corroded condition*

Dihitung menggunakan rumusan 4.3.1 di bawah ini :

$$R_c = \frac{D_i + 2.CA}{2} \quad (4.3.1) \\ = \frac{21216 + 2.5}{2} \\ = 10609.25 \text{ mm}$$

S : *Maximum allowable stress* (MPa)

: 170 MPa

E : *Joint efficiency*

: 1

Sehingga

$$t_{min} = \frac{1.72 \times 10609.25}{2 \times 170 \times 1 - 0.2 \times 1.72} \\ = \frac{18247.91}{339.66} \\ = 53.72 \text{ mm}$$

h. Menentukan faktor kerusakan (Art)

Parameter faktor kerusakan dihitung dengan menggunakan rumusan 4.12 di bawah ini :

$$A_{rt} = \max \left[\left(1 - \frac{t_{rd} - C_{r,bm} x age}{t_{min} + CA} \right), 0.0 \right] \quad (4.12)$$

Dengan nilai

$$CA = 0.125 \text{ mm} = 0.00492 \text{ inch}$$

- Art pada *RBI date*

$$\begin{aligned} \text{Art} &= \max \left(\left[1 - \frac{58.7 - (0.508 \times 0)}{53.72 + 1.25} \right], 0.0 \right) \\ &= \max \left(\left[1 - \frac{58.7}{55} \right], 0.0 \right) \\ &= \max [-0.07, 0.0] \\ &= 0 \end{aligned}$$

- Art pada *plan date*

$$\begin{aligned} \text{Art} &= \max \left(\left[1 - \frac{58.7 - (0.508 \times 20)}{53.72 + 1.25} \right], 0.0 \right) \\ &= \max \left(\left[1 - \frac{48.5}{55} \right], 0.0 \right) \\ &= \max [0.12, 0.0] \\ &= 0.12 \end{aligned}$$

i. Menentukan nilai *damage factor* (d_f^{extd})

Nilai *base damage factor* ditentukan dari nilai Art, kategori efektifitas inspeksi, dan angka inspeksi. Untuk analisis dalam tugas akhir ini dengan angka inspeksi 3, kategori efektifitas inspeksi D, dan nilai Art pada plan date adalah 0, sehingga nilai *base damage factor* adalah 1.

Sedangkan untuk nilai *base damage factor* pada plan date dengan nilai Art adalah 0,12 yaitu 2.

3. Menghitung nilai total *damage factor* untuk *pressure vessel*

Nilai *damage factor* total didapatkan dengan menjumlahkan nilai *thinning damage factor* dan *external damage factor*, sehingga nilai *damage factor* total pada *RBI date* adalah :

$$\begin{aligned} d_{f\text{-total}} &= d_f^{thin} + d_f^{extd} \\ &= 5 + 1 \\ &= 6 \end{aligned}$$

Total *damage factor* pada *plan date* adalah :

$$\begin{aligned} d_{f\text{-total}} &= d_f^{\text{thin}} + d_f^{\text{extd}} \\ &= 20 + 2 \\ &= 22 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai *damage factor* untuk pipa

- a. Menentukan angka kegagalan sistem perpipaan yang pernah terjadi dan menentukan *base damage factor* untuk *piping failure* berdasarkan kriteria di bawah ini :

- *None* - $d_{fb}^{PF} = 1$
- *One* - $d_{fb}^{PF} = 50$
- *Greater than one* - $d_{fb}^{PF} = 500$

Tidak pernah terjadi kegagalan pada *filling pipe* 2 inch di tangki V110, sehingga :

$$d_{fb}^{PF} = 1$$

- b. Menentukan banyaknya getaran atau suara yang terlihat/terdengar yang terjadi pada pipa, dan menentukan *base damage factor* untuk *audible shaking* berdasarkan kriteria berikut ini :

- d. *Minor* - $d_{fb}^{AS} = 1$
- e. *Moderate* - $d_{fb}^{AS} = 50$
- f. *Severe* - $d_{fb}^{AS} = 500$

Penjelasan masing-masing kriteria di atas diberikan pada Tabel A.1 Lampiran B. Kriteria getaran pada pipa 2 inch berdasarkan tabel tersebut ialah B, yakni terdapat atau terasa getaran pada pipa, cabang kelengkapan pipa, atau pendukung pipa. Getaran sangat terasa pada saat pipa dipegang, sehingga :

$$d_{fb}^{AS} = 500$$

- c. Menentukan *adjustment factor* untuk getaran yang terlihat atau terdengar, berdasarkan kriteria berikut ini :

- *Shaking less than 2 weeks* - $F_{fb}^{AS} = 1$
- *Shaking between 2 and 13 weeks* - $F_{fb}^{AS} = 50$
- *Shaking between 13 and 52 weeks* - $F_{fb}^{AS} = 500$

Interval getaran yang terjadi pada pipa yang dianalisis ialah setiap hari atau pada saat pengoperasian pipa, baik pengisian fluida ke dalam tangki maupun penyaluran fluida dari tangki. Sehingga :

$$F_{fb}^{AS} = 1$$

- d. Menentukan tipe *cyclic loading* yang terhubung secara langsung dan tidak langsung pada jarak kurang dari 15.24 meter (50 ft) pada pipa, dan menentukan *base damage factor* untuk *cycling loading* berdasarkan kriteria :

- *Reciprocating machinery* - $d_{fb}^{CF} = 50$
- *PRV Chatter* - $d_{fb}^{CF} = 25$
- *Valve with high pressure drop* - $d_{fb}^{CF} = 10$
- *None* - $d_{fb}^{CF} = 1$

Getaran yang terjadi pada pipa disebabkan karena adanya pompa. Keberadaan pompa yang digunakan untuk menghisap fluida dari *filling side* tersebut diklasifikasikan pada tipe *cyclic loading* karena *reciprocating machinery*, sehingga:

$$d_{fb}^{CF} = 50$$

- e. Menentukan *base damage factor* menggunakan persamaan 4.13 berikut ini :

$$\begin{aligned} D_{fb}^{mfat} &= \max[d_{fb}^{PF}, (d_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), d_{fb}^{CF}] \\ &= \max [1, (500, 1), 50] \\ &= 500 \end{aligned} \quad (4.13)$$

- f. Menentukan nilai *damage factor* akhir menggunakan persamaan 4.14 berikut ini :

$$D_f^{mfat} = D_{fb}^{mfat} \times F_{CA} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{JB} \times F_{BD} \quad (4.14)$$

Penjelasan masing-masing *factor adjustment* di atas adalah sebagai berikut :

1. *Adjustment for Corrective Action*

Nilai *adjustment for corrective maintenance* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :

- *Modification based on complete engineering analysis*

$$F_{CA} = 0.002$$

- *Modification based on experience*

$$F_{CA} = 0.2$$

- *No modification*

$$F_{CA} = 2$$

Terminal LPG Semarang pernah melakukan modifikasi pada sistem perpipaan. Modifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan analisis yang telah dikerjakan oleh departemen *engineering, maintenance*, dan *safety*, sehingga :

$$F_{CA} = 0.002$$

2. *Adjustment for Pipe Complexity*

Nilai *adjustment for pipe complexity* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :

- *0 – 5 total pipe fittings, $F_{PC} = 0.5$*
- *6 – 10 total pipe fittings, $F_{PC} = 1$*
- *Greater than 10 total pipe fittings, $F_{PC} = 2$*

Fitting pada pipa dapat berupa *T-joint, valves, elbows*, dll. Jumlah *fittings* pada pipa yang dianalisis ialah sebanyak 6 *fittings*, sehingga :

$$F_{PC} = 1$$

3. *Adjustment for Condition of Pipe*

Nilai *adjustment for condition of pipe* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :

- *Missing or damaged support, improper support*

$$F_{CP} = 2$$

- *Broken gussets, gussets welded directly to the pipe*

$$F_{CP} = 2$$

- *Good condition*

$$F_{CP} = 1$$

Pipa yang dianalisis memiliki kondisi *support* yang masih cukup baik, hal ini dikarenakan telah

dilakukan penggantian *support* pipa baru, sehingga :

$$F_{CP} = 2$$

4. *Adjustment for Joint Type or Branch Design*

Nilai *adjustment for joint type or branch design* diambil berdasarkan kriteria dibawah ini :

- *Threaded, socketweld, saddle on*, $F_{JB} = 2$
- *Saddle in fittings*, $F_{JB} = 1$
- *Piping tee, weldolets*, $F_{JB} = 0.2$
- *Sweepolets*, $F_{JB} = 0.02$

Tipe sambungan yang dipasang pada pipa ialah tipe *saddle on*, sehingga :

$$F_{JB} = 2$$

5. *Adjustment for Branch Diameter*

Nilai *adjustment for branch diameter* diambil berdasarkan kriteria di bawah ini :

- *All branches less than or equal to 2 NPS*
 $F_{BD} = 1$
- *Any branch greater than 2 NPS*
 $F_{BD} = 0.02$

Pipa cabang yang terdapat pada sistem perpipaan memiliki ukuran 2 inch, 4 inch, dan 8 inch. Berikut merupakan ukuran pada masing-masing pipa (Sch 40) :

Tabel 4. 9 ukuran diameter Pipa

<i>Size</i>	<i>Thickness (mm [inch])</i>
2 inch	3.9 [0.153543]
4 inch	6 [0.23622]
8 inch	8.2 [0.322835]

Thickness untuk 2 NPS ialah sebesar 0.154 inch, sehingga dari ukuran di atas dapat disimpulkan bahwa pipa cabang lebih besar dibandingkan 2 NPS, sehingga :

$$F_{BD} = 0.02$$

- g. Menghitung *final damage factor* untuk sistem perpipaan menggunakan rumusan 4.14 di atas.

$$\begin{aligned}
 D_f^{mfat} &= D_{fb}^{mfat} \times F_{CA} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{JB} \times F_{BD} \\
 &= 500 \times 0.002 \times 1 \times 1 \times 2 \times 0.02 \\
 &= 0.04
 \end{aligned}$$

5. Menghitung dan menentukan kategori probabilitas kegagalan

Probabilitas kegagalan dihitung menggunakan persamaan 4.15 di bawah ini :

$$PoF = g_{ff} \times F_{MS} \times D_F \quad (4.15)$$

Probabilitas kegagalan dipengaruhi oleh nilai *generic failure frequency*, *management systems factor*, dan total *damage factor*. Nilai *generic failure frequency* di dipengaruhi oleh tipe peralatan yang dianalisis. Nilai-nilai *generic failure frequency* untuk masing-masing peralatan dapat dilihat pada lampiran A Tabel A.1.

Sedangkan nilai *management systems factor* didapatkan dari penilaian pertanyaan seperti yang terlampir pada lampiran A Tabel A.2. Penilaian pertanyaan pada *management systems factor* dalam analisis tugas akhir ini dilakukan oleh pak Bloodytyka, selaku Kadiv *Maintenance* Terminal LPG Semarang (TLS).

Nilai *damage factor* didapatkan dari perhitungan-perhitungan sebelumnya. Besarnya probabilitas kegagalan untuk *pressure vessel* V110 pada RBI *date* ialah :

$$\begin{aligned}
 PoF &= 0.0000306 \times 0.779 \times 6 \\
 &= 0.000143
 \end{aligned}$$

Besarnya probabilitas kegagalan untuk *pressure vessel* V110 pada *plan date* adalah :

$$\begin{aligned}
 PoF &= 0.0000306 \times 0.779 \times 575 \\
 &= 0.0129914
 \end{aligned}$$

Besarnya probabilitas kegagalan untuk *piping systems* 2 inch ialah :

$$\begin{aligned}
 PoF &= 0.0000306 \times 0.779 \times 0.04 \\
 &= 9.535E-07
 \end{aligned}$$

Detail perhitungan probabilitas kegagalan untuk *pressure vessel* V120, V130, dan V140 dapat dilihat pada lampiran E. Sedangkan untuk detail perhitungan probabilitas kegagalan

untuk *piping systems* 4 inch dan 8 inch dapat dilihat pada lampiran F.

1.3.2. Analisis Konsekuensi Kegagalan

API 581 memberikan 2 level analisis yaitu analisis level 1 dan analisis level 2. Fluida-fluida yang termasuk dalam analisis level 1 dapat dilihat pada Tabel B.1 Lampiran B. Sedangkan untuk fluida-fluida yang tidak termasuk ke dalam daftar fluida level 1 harus dianalisis dalam level 2.

Fluida LPG yang dianalisis memiliki kandungan butana (68%) dan propana (30%). Fluida butana dan propana memiliki struktur hidrokarbon C_3 dan C_4 . Hidrokarbon C_3 - C_4 termasuk ke dalam fluida type 0 dan dianalisis pada konsekuensi level 1.

API 581 juga memberikan 2 jenis perhitungan konsekuensi, yaitu konsekuensi berdasarkan area dan konsekuensi berdasarkan biaya. Analisis dalam tugas akhir ini difokuskan pada analisis konsekuensi terhadap area.

1.3.2.1. Menghitung konsekuensi area *pressure vessel*

Detail langkah-langkah dalam perhitungan konsekuensi ialah :

1. Menentukan pelepasan fluida dan sifat-sifatnya, termasuk fase pelepasannya.

Fluida representatif yang paling sesuai dengan fluida yang terkandung dalam sistem bertekanan akan dievaluasi dan dipilih dari fluida representatif seperti yang ditampilkan pada Tabel A.1 lampiran C.

a. Memilih kelompok fluida representatif

Pemilihan fluida representatif dipengaruhi oleh jenis fluida yang diproses didalam *pressure vessel*. Fluida yang dijadikan objek penelitian dalam tugas akhir ini adalah LPG. Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana, yang termasuk dalam gugus C_3 .

b. Menentukan fase penyimpanan fluida

Fase fluida yang disimpan dalam *pressure vessel* ialah cair atau *stored liquid*.

- c. Menentukan sifat-sifat fluida yang disimpan untuk *stored liquid*.

$$\rho = 33.6 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{AIT} = 1157^\circ\text{Rankine}$$

$$\text{NBP} = 370^\circ\text{Rankine}$$

- d. Menentukan fase fluida stabil setelah terlepas ke atmosfer.

Fluida yang dianalisis disimpan dalam bentuk cair dan akan berubah fase menjadi gas pada saat terlepas ke udara. Fluida LPG memiliki nilai NBP sebesar (-6.9°F) atau dibawah 80°F , sehingga fase fluida stabil dimodelkan sebagai gas.

2. Memilih set ukuran lubang untuk menentukan kemungkinan konsekuensi pada perhitungan resiko.

Ukuran lubang pelepasan yang ditunjukkan pada Tabel B.4 lampiran B digunakan pada analisis konsekuensi level 1 dan 2. Pemilihan ukuran lubang pelepasan didasarkan pada tipe peralatan dan ukurannya. Annex A API 581 memberikan keterangan untuk *pressure vessel*, empat ukuran lubang pelepasan diasumsikan untuk semua ukuran dan tipe *pressure vessel*. Sedangkan ukuran lubang pelepasan untuk pipa diasumsikan maksimal sesuai ukuran diameter pipa tersebut, misalnya pipa dengan diameter 2 inch memiliki ukuran lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch, 1 inch, dan 2 inch (*rupture*).

- a. Menentukan diameter lubang pelepasan berdasarkan Tabel A.4 lampiran C

Ukuran lubang pelepasan untuk *pressure vessel* :

- *Small* (d_1) = $\frac{1}{4}$ inch
- *Medium* (d_2) = 1 inch
- *Large* (d_3) = 4 inch
- *Rupture* (d_4) = 16 inch

- b. Menentukan nilai frekuensi kegagalan *generic*, gff, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan berdasarkan Tabel A.2 lampiran A.

- *Small* (gff_1) = $8.00\text{E-}06$
- *Medium* (gff_2) = $2.00\text{E-}07$

- $Large (gff_3) = 2.00E-06$
- $Rupture (gff_4) = 6.00E-05$
- c. Menentukan nilai frekuensi kegagalan *generic* total.
 $gff_{total} = 7.02E-05$

3. Menghitung laju pelepasan

Laju pelepasan bergantung pada sifat-sifat fisik material (fluida), fase awal, kondisi proses pengoperasian, dan ukuran lubang pelepasan yang telah ditentukan. Laju pelepasan dapat dihitung dengan menggunakan rumusan 4.16 berikut ini apabila tekanan penyimpanan lebih besar dari tekanan transisi.

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} x A_n x P_s \sqrt{\left(\frac{k x MW x gc}{R x T_s}\right) \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (4.16)$$

Laju pelepasan dapat dihitung menggunakan rumusan 4.17 berikut ini apabila tekanan penyimpanan kurang dari tekanan transisi.

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} x A_n x P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot gc}{R \cdot T_s}\right) \left(\frac{2k}{k-1}\right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s}\right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right)\right]} \quad (4.17)$$

Dimana :

C_d = discharge coefficient

C_p = customary conversion factors

A_n = release hole size area (inch²)

P_s = tekanan penyimpanan (psi)

P_{atm} = tekanan atmosfer (psi)

T_s = suhu penyimpanan (°Rankine)

R = konstanta gas *universal* (lb-mol°R)

gc = konstanta gravitasi lb_m-ft/lb_f-s²

k = *Ideal Gas Specific Heat Capacity Ratio*

- a. Menghitung *constant pressure specific heat capacity*

Constant pressure specific heat capacity dapat dihitung menggunakan persamaan 4.18 berikut ini :

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 \quad (4.18)$$

Dimana :

$A = 2.63$

$B = 0.32$

$C = -1.3$

$$D = 1.47$$

$$T = 308^\circ\text{Rankine}$$

Sehingga

$$C_p = 2.63 + (0.32 \times 308) + (-1.3)(308)^2 + (1.47)(308)^3$$

$$C_p = 2.63 + 98 + (-127906) + 42896364.5 \\ = 2.25\text{E}+04 \text{ Btu/kmol}\cdot^\circ\text{R}$$

- b. Menghitung *Ideal Gas Specific Heat Capacity Ratio*
Ideal Gas Specific Heat Capacity Ratio dihitung menggunakan persamaan 4.19 berikut ini :

$$k = \frac{C_p + R}{C_p} \quad (4.19) \\ = \frac{(2.25 \times 10^4) + 1545}{2.25 \times 10^4} \\ = 1.073$$

- c. Menghitung tekanan transisi

Tekanan transisi merupakan tekanan pada saat *flow regime* berubah dari *sonic* menjadi *sub-sonic*. Tekanan transisi dihitung menggunakan persamaan 4.20 di bawah ini :

$$P_{trans} = P_{atm} + \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (4.20) \\ = 14.5 + \left(\frac{1.0735+1}{2}\right)^{\frac{1.0735}{1.0735-1}} \\ = 17.3 \text{ psi}$$

- d. Menghitung laju pelepasan

Laju pelepasan dihitung menggunakan rumusan 4.16 atau 4.17 di atas dipilih yang paling sesuai, dimana :

$$P_s = 175 \text{ psi}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

Dapat disimpulkan bahwa $P_s > P_{trans}$, maka besarnya laju korosi dihitung menggunakan persamaan 4.16 di atas. Berikut ini merupakan contoh perhitungan laju pelepasan pada lubang 1 inch :

$$\begin{aligned}
 W_2 &= \frac{0.9}{1} \times 0.79 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555}\right) \left(\frac{2}{1.0735+1}\right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}} \\
 &= 0.9 \times 0.79 \times 175 \times 0.045 \\
 &= 5.57 \text{ lb/s}
 \end{aligned}$$

Besarnya laju pelepasan pada masing-masing ukuran lubang pelepasan ialah :

- $W_1 = 0.35 \text{ lb/s}$
- $W_2 = 5.57 \text{ lb/s}$
- $W_3 = 89.1 \text{ lb/s}$
- $W_4 = 1425 \text{ lb/s}$

4. Mengestimasi masa total dari fluida yang mungkin terlepas

API RBI memberikan keterangan untuk konsekuensi kegagalan dari sebuah peralatan dievaluasi ialah mengombinasikan dengan adanya peralatan lain yang dapat berkontribusi menambah massa fluida yang terlepas. Massa fluida yang terlepas dapat dihitung menggunakan rumusan 4.21 berikut ini :

$$Mass_{avail} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}] \quad (4.21)$$

Dimana :

$Mass_{comp}$: massa peralatan yang dianalisis

$Mass_{add}$: massa tambahan yang dapat terlepas selama 3 menit

$Mass_{inv}$: massa komponen lain yang terdapat dalam *inventory group*

- a. Menghitung massa komponen, $Mass_{comp}$, pada peralatan yang dianalisis

Massa komponen dihitung menggunakan rumusan 4.22 di bawah ini :

$$Mass_{comp} = \rho \times 50\% \times V \quad (4.22)$$

Dimana :

$$\rho = 33.6 \text{ lb/ft}^3$$

$$V = 5000 \text{ m}^3$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 Mass_{comp} &= 33.6 \times 50\% \times 5000 \\
 &= 84025 \text{ lbs}
 \end{aligned}$$

- b. Menghitung massa pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $Mass_{comp,i}$.

TLS memiliki 4 buah *pressure vessel* dengan diameter yang sama. Massa fluida pada masing-masing peralatan sama dengan jumlah massa fluida yang dianalisis, sehingga dapat disimpulkan bahwa :

$$mass_{V110} = mass_{V120} = mass_{V130} = mass_{V140} = 84025 \text{ lbs}$$

- c. Menghitung massa total pada *inventory group*, $Mass_{inv}$.

$$\begin{aligned} \sum mass_{inv} &= \sum_{i=1}^n mass_{comp,i} \\ &= 4 \times 84025 \\ &= 336100 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- b. Menghitung *flow rate* untuk diameter 8 inch menggunakan persamaan 4.23 di bawah ini :

$$W_{max8} = \frac{C_d}{C_2} \times A_8 \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times gc}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (4.23)$$

Dengan, $A_8 = 50.3 \text{ inch}^2$

Didapatkan :

$$\begin{aligned} W_{max8} &= \frac{0.9}{1} \times 50.3 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}} \\ W_{max8} &= 357 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- c. Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus 4.24 berikut ini :

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}] \quad (4.24)$$

Besarnya massa tambahan untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan adalah :

- Untuk lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch

$$\begin{aligned} mass_{add1} &= 180 \times \min[0.35, 375] \\ &= 62.6 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- Untuk lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{aligned} mass_{add2} &= 180 \times \min[5.57, 375] \\ &= 1002 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- Untuk lubang pelepasan 4 inch

$$\begin{aligned} mass_{add3} &= 180 \times \min[244, 375] \\ &= 16029 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- Untuk lubang pelepasan 16 inch

$$\begin{aligned} mass_{add4} &= 180 \times \min[1425, 375] \\ &= 64193.429 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- d. Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 4.21 di atas. Didapatkan :

- $Mass_{avail}$ pada lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch

$$\begin{aligned} Mass_{avail1} &= \min[(84025 + 62.6), 336100] \\ &= 84087.614 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- $Mass_{avail}$ pada lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{aligned} Mass_{avail2} &= \min[(84025 + 1002), 336100] \\ &= 84087.614 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- $Mass_{avail}$ pada lubang pelepasan 4 inch

$$\begin{aligned} Mass_{avail3} &= \min[(84025 + 16029), 336100] \\ &= 100054.21 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- $Mass_{avail}$ pada lubang pelepasan 16 inch

$$\begin{aligned} Mass_{avail4} &= \min[(84025 + 64193.429), 336100] \\ &= 148218.43 \text{ lbs} \end{aligned}$$

5. Menentukan tipe pelepasan, *continous* atau *Instantaneous*, untuk menentukan metode yang digunakan untuk memodelkan dispersi dan konsekuensi.

API RBI memberikan dua pemodelan tipe pelepasan yaitu:

- a. *Instantaneous Release* – pelepasan sesaat atau *puff release* adalah pelepasan yang terjadi dengan sangat cepat sehingga cairan menyebar seperti awan yang besar atau *pool*.
- b. *Continuous Release* – pelepasan terus-menerus atau *plume release* adalah pelepasan yang terjadi selama jangka waktu yang lama, yang memungkinkan cairan

untuk menyebar dalam bentuk elips memanjang (tergantung kondisi cuaca).

Penentuan tipe pelepasan ditentukan berdasarkan kriteria dibawah ini :

- Apabila ukuran lubang pelepasan adalah 6.35 mm [0.25 inch], maka tipe pelepasan adalah *continuous*.
- Apabila waktu (t_n) kurang dari 180 dt atau massa yang terlepas lebih dari 4.536 kgs [10.000 lbs] maka tipe pelepasan adalah *instantaneous*.

Besarnya waktu untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan dihitung menggunakan persamaan 4.25 berikut ini :

$$t_n = \frac{C_3}{W_n} \quad (4.25)$$

Dengan nilai $C_3 = 10000$, maka didapatkan :

- Waktu untuk lubang pelepasan ¼ inch :
 $t_1 = 28747.511$ detik
- Waktu untuk lubang pelepasan 1 inch :
 $t_2 = 1796.719$ detik
- Waktu untuk lubang pelepasan 4 inch :
 $t_3 = 112.295$ detik
- Waktu untuk lubang pelepasan 16 inch :
 $t_4 = 7.0184$ detik

Tipe pelepasan untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan dapat disimpulkan :

- Ukuran lubang pelepasan ¼ inch = *continuous release*
- Ukuran lubang pelepasan 1 inch = *instantaneous release*
- Ukuran lubang pelepasan 4 inch = *instantaneous release*
- Ukuran lubang pelepasan 16 inch = *instantaneous release*

6. Mengestimasi dampak sistem pendeteksi dan isolasi pada besarnya pelepasan

Perusahaan pengolahan petrokimia, biasanya memiliki berbagai sistem deteksi, isolasi, dan mitigasi yang dirancang untuk mengurangi efek dari pelepasan bahan-bahan berbahaya. Tabel B.5 Lampiran B menunjukkan kriteria sistem deteksi dan isolasi.

- a. Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis support yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, *LALL*, *LAHH*, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

- b. Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan Tabel B.5 Lampiran B

Dari penjelasan langkah 1 di atas maka dapat ditentukan klasifikasi sistem deteksi yaitu B.

- c. Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan Tabel B.5 Lampiran B.

Berdasarkan penjelasan di langkah 1 dapat ditentukan klasifikasi sistem isolasi ialah B.

- d. Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan Tabel B.6 Lampiran B

Dari Tabel B.6 Lampiran B untuk sistem deteksi B dan sistem isolasi B nilai *reduction factor*, $fact_{di}$, adalah 0.15

- e. Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, $Id_{max,n}$, menggunakan Tabel B.7 lampiranD.

Nilai durasi kebocoran dari Tabel B.7 Lampiran B, dapat disimpulkan :

- Id_{max} untuk ¼ inch : 40 menit
- Id_{max} untuk 1 inch : 30 menit
- Id_{max} untuk 4 inch : 20 menit

7. Menentukan laju pelepasan dan masa untuk analisis konsekuensi

Perhitungan pada tipe pelepasan *continuous*, pelepasan dimodelkan sebagai *steady state plume*. Oleh karena itu, laju pelepasan (lb/s) digunakan sebagai input analisis konsekuensi. Sedangkan untuk pelepasan sesaat, massa pelepasan digunakan dalam melakukan analisis. Rumusan

4.26 berikut ini digunakan dalam menghitung laju pelepasan *continuous release*.

$$\text{Rate}_n = W_n (1 - \text{fact}_{di}) \quad (4.26)$$

Rumusan 4.27 di bawah ini digunakan untuk menghitung masa pelepasan *instantaneous release*.

$$\text{Mass}_n = \min [(\text{rate}_n \times \text{Id}_n), \text{mass}_{\text{avail},n}] \quad (4.27)$$

Dimana :

Rate_n : laju pelepasan (lb/s)

Id_n : durasi kebocoran (*second*)

- a. Menghitung laju pelepasan, rate_n , untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 4.26 di atas.

Rumusan diatas digunakan untuk menghitung laju pelepasan apabila tipe pelepasannya adalah *continuous release*. Tipe pelepasan *continuous release* dari hasil analisis di atas ialah pada lubang pelepasan ¼ inch.

$$\text{Rate}_1 = 0.3 \text{ lb/s}$$

- b. Menghitung durasi kebocoran, Id_n , menggunakan rumusan 4.28 berikut :

$$\text{Id}_n = \min \left[\left(\frac{\text{mass}_{\text{avail},n}}{\text{rate}_n} \right), (60 \times \text{Id}_{\text{max},n}) \right] \quad (4.28)$$

Durasi kebocoran, Id_n , diaplikasikan pada tipe pelepasan *instantaneous release*. Tipe pelepasan *instantaneous release* dari hasil analisis di atas ialah pada lubang pelepasan 1 inch, 4 inch, dan 16 inch. Durasi kebocoran pada masing-masing ukuran lubang pelepasan tersebut ialah :

- Durasi kebocoran untuk diameter 1 inch

$$\begin{aligned} \text{Id}_2 &= \min \left[\left(\frac{85026.826}{4.7308} \right), (60 \times 30) \right] \\ &= \min(17972.864, 1800) \\ &= 1800 \text{ detik} \end{aligned}$$

- Durasi kebocoran untuk diameter 4 inch

$$\begin{aligned} \text{Id}_3 &= \min \left[\left(\frac{100054.21}{75.693} \right), (60 \times 20) \right] \\ &= \min(1321.833, 1200) \\ &= 1200 \text{ detik} \end{aligned}$$

- Durasi kebocoran untuk diameter 16 inch
API RBI tidak memberikan nilai durasi kebocoran untuk diameter 16 inch.
- c. Menghitung massa pelepasan, $mass_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 4.27 di atas.

Rumusan di atas gunakan untuk menghitung massa pelepasan apabila tipe pelepasan adalah *instantaneous release*. Tipe pelepasan *instantaneous release* dari hasil analisis di atas meliputi diameter lubang pelepasan 1 inch, 4 inch, dan 16 inch.

- Massa pelepasan untuk diameter 1 inch :
 $Mass_2 = 8515.52 \text{ lbs}$
- Massa pelepasan untuk diameter 4 inch :
 $Mass_3 = 90832.213 \text{ lbs}$
- Massa pelepasan untuk diameter 16 inch :
Massa pelepasan untuk diameter 16 inch (*rupture*) diasumsikan sama dengan massa *available* yang dapat terlepas, sehingga :
 $Mass_4 = 148218.43 \text{ lbs}$

8. Menghitung konsekuensi kebakaran/ledakan

Konsekuensi area diestimasikan dari perhitungan laju pelepasan (untuk pelepasan *continuous*) atau masa pelepasan (untuk pelepasan *instantaneous*).

1. Menghitung konsekuensi area *component damage*

Konsekuensi area *component damage* dibedakan menjadi 4, yaitu :

- *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.29 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = a(rate_n)^b \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.29)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.8 Lampiran B.

$$a = 49.5$$

$$b = 1$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Component Damage Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.30 berikut ini :

$$effrate_n^{AINL-CONT} = rate_n \quad (4.30)$$

Tipe pelepasan *continuous* adalah pada diameter ¼ inch, sehingga :

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT} = 49.5(0.3)^1 \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT} = 11.7 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AINL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

- *Auto-ignition Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.31 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} = a(rate_n)^b \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.31)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.8 Lampiran B.

$$a = 313.6$$

$$b = 1$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Component Damage Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.32 berikut ini :

$$effrate_n^{AIL-CONT} = rate_n \quad (4.32)$$

Tipe pelepasan *continuous* adalah pada diameter ¼ inch, sehingga :

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT} = 313.6(0.3)^1 \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} = 74.2 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AIL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

- *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.33 berikut ini :

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} = a(mass_n)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.33)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.8 Lampiran B.

$$a = 27.96$$

$$b = 0.72$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Component Damage Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.34 berikut ini :

$$effmass_n^{AINL-INST} = mass_n \quad (4.34)$$

Tipe pelepasan *instantaneous* adalah pada diameter 1 inch, 4 inch, dan 16 inch, sehingga :

- a. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-INST} = 27.96(8515.52)^{0.72} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{0.72} \right)$$

$$CA_{cmd2}^{AINL-INST} = 20967.058 \text{ ft}^2$$

$$effmass_n^{AINL-INST} = 8515.52 \text{ lbs}$$

- b. Pada lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL-INST} = 27.96(90832.213)^{0.72} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{5} \right)$$

$$CA_{cmd3}^{AINL-INST} = 17192.804 \text{ ft}^2$$

$$effmass_n^{AINL-INST} = 90832.213 \text{ lbs}$$

- c. Pada lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AINL-INST} = 27.96(148218.43)^{0.72} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{5.68} \right)$$

$$CA_{cmd4}^{AINL-INST} = 20799.484 \text{ ft}^2$$

$$effmass_n^{AINL-INST} = 148218.43 \text{ lbs}$$

- *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.35 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST} = a(mass_n)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.35)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.8 Lampiran B.

$$a = 522.9$$

$$b = 0.63$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Component Damage Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.36 berikut ini :

$$effmass_n^{AIL-INST} = mass_n \quad (4.36)$$

Tipe pelepasan *instantaneous* adalah pada diameter 1 inch, 4 inch, dan 16 inch, sehingga :

- a. Pada lubang pelepasan 1 inch :

$$CA_{cmd2}^{AIL-INST} = 522.9(8515.52)^{0.63} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{0.72} \right)$$

$$CA_{cmd2}^{AIL-INST} = 173660.07 \text{ ft}^2$$

$$effmass_2^{AIL-INST} = 8515.52 \text{ lbs}$$

- a. Pada lubang pelepasan 4 inch :

$$CA_{cmd3}^{AIL-INST} = 522.9(90832.213)^{0.63} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{5} \right)$$

$$CA_{cmd3}^{AIL-INST} = 115076.49 \text{ ft}^2$$

$$effmass_3^{AIL-INST} = 90832.213 \text{ lbs}$$

- b. Pada lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL-INST} = 522.9(148218.43)^{0.63} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{5.68} \right)$$

$$CA_{cmd4}^{AIL-INST} = 133214.91 \text{ ft}^2$$

$$effmass_4^{AIL-INST} = 148218.43 \text{ lbs}$$

2. Menghitung konsekuensi area *personel injury*

- *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.37 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AINL-CONT} = [a (effrate_n^{AINL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.37)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.9 Lampiran B.

$$a = 125.2$$

$$b = 1$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Personel Injury Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.38 berikut ini :

$$effrate_n^{AINL-CONT} = rate_n \quad (4.38)$$

Tipe pelepasan *continuous* adalah pada diameter $\frac{1}{4}$ inch, sehingga :

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT} = [125.2(0.3)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT} = 29.6 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AINL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

- *Auto-ignition Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.39 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AIL-CONT} = [a (effrate_n^{AIL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.39)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.9 Lampiran B.

$$a = 836.7$$

$$b = 1$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Personel Injury Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.40 berikut ini :

$$effrate_n^{AIL-CONT} = rate_n \quad (4.40)$$

Tipe pelepasan *continuous* adalah pada diameter ¼ inch, sehingga :

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT} = [836.7(0.3)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT} = 198 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AIL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

- *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.41 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AINL-INST} = [a (effrate_n^{AINL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.41)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.9 Lampiran B.

$$a = 57.72$$

$$b = 0.75$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Personel Injury Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.42 berikut ini :

$$effrate_n^{AINL-INST} = mass_n \quad (4.42)$$

Tipe pelepasan *instantaneous* adalah pada diameter 1 inch, 4 inch, dan 16 inch, sehingga :

a. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-INST} = [57.72(8515.52)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj2}^{AINL-INST} = 56784.92 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AINL-INST} = 8515.52 \text{ lbs}$$

- b. Pada lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AINL-INST} = [57.72(90832.213)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj3}^{AINL-INST} = 49989.992 \text{ ft}^2$$

$$effrate_3^{AINL-INST} = 90832.213 \text{ lbs}$$

- c. Pada lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{AINL-INST} = [57.72(148218.43)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj4}^{AINL-INST} = 61371.789 \text{ ft}^2$$

$$effrate_4^{AINL-INST} = 148218.43 \text{ lbs}$$

- *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.36 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AIL-INST} = [a (effrate_n^{AIL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1-fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.43)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.9 Lampiran B.

$$a = 1769$$

$$b = 0.63$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Personel Injury Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.44 berikut ini :

$$effrate_n^{AIL-INST} = mass_n \quad (4.44)$$

Tipe pelepasan *instantaneous* adalah pada diameter 1 inch, 4 inch, dan 16 inch, sehingga :

- a. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-INST} = [1769 (8515.52)^{0.63}] \cdot \left(\frac{1-0.2}{0.72} \right)$$

$$CA_{inj2}^{AIL-INST} = 587501.74 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-INST} = 8515.52 \text{ lbs}$$

- b. Pada lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-INST} = [1769 (90832.213)^{0.63}] \cdot \left(\frac{1-0.2}{5} \right)$$

$$CA_{inj3}^{AIL-INST} = 389310.21 \text{ ft}^2$$

$$effrate_3^{AIL-INST} = 90832.213 \text{ lbs}$$

- c. Pada lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL-INST} = [1769 (148218.34)^{0.63}] \cdot \left(\frac{1-0.2}{5.68} \right)$$

$$CA_{inj4}^{AIL-INST} = 450673.51 \text{ ft}^2$$

$$effrate_4^{AIL-INST} = 148218.43 \text{ lbs}$$

3. Menghitung *instantaneous/continuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan persamaan 4.45, 4.46, atau 4.47 yang sesuai.

- c. Nilai *blending factor* untuk tipe pelepasan *continuous* dihitung menggunakan persamaan 4.45 berikut ini :

$$fact_n^{IC} = \min \left[\left\{ \frac{rate_n}{C_5} \right\}, 1.0 \right] \quad (4.45)$$

Dengan nilai $C_5 = 55.6$

- d. Nilai *blending factor instantaneous* apabila konstanta tidak disediakan dalam tabel 5.8 atau 5.9 maka nilai digunakan persamaan 4.46 di bawah ini :

$$fact_n^{IC} = 0.0 \quad (4.46)$$

- e. Nilai *blending factor* untuk pelepasan *instantaneous* tidak disediakan, sehingga digunakan persamaan 4.47 di bawah ini :

$$fact_n^{IC} = 1.0 \quad (4.47)$$

Nilai-nilai *blending factor* dipilih berdasarkan tipe pelepasan yang sesuai untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, sehingga nilai masing-masing :

- a. Ukuran lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch

Tipe pelepasan : *Continuous release*

$$fact_1^{IC} = \min \left[\left\{ \frac{0.3}{55.6} \right\}, 1.0 \right]$$

$$fact_1^{IC} = \min[0.0054, 1.0]$$

$$fact_1^{IC} = 0.0054$$

- b. Ukuran lubang pelepasan 1 inch

Tipe pelepasan : *Instantaneous release*

$$fact_2^{IC} = 1$$

- c. Ukuran lubang pelepasan 4 inch

Tipe pelepasan : *Instantaneous release*

$$fact_3^{IC} = 1$$

d. Ukuran lubang pelepasan 16 inch

Tipe pelepasan : *Instantaneous release*

$$fact_4^{IC} = 1$$

4. Menghitung *AIT blending factor* menggunakan rumusan 4.48, 4.49, dan 4.50 yang sesuai.

$$fact^{AIT} = 0 \quad (4.48)$$

$$apabila T_s + C_6 \leq AIT$$

$$fact^{AIT} = \frac{(T_s - AIT + C_6)}{2 \times C_6} \quad (4.49)$$

$$apabila T_s + C_6 > AIT > T_s - C_6$$

$$fact^{AIT} = 1 \quad (4.50)$$

$$apabila T_s - C_6 \geq AIT$$

Dimana :

$$T_s = 555^\circ \text{Rankine}$$

$$C_6 = 100$$

$$AIT = 1157^\circ \text{Rankine}$$

$$T_s + C_6 = 655^\circ \text{Rankine}$$

$$T_s - C_6 = 455^\circ \text{Rankine}$$

Sehingga, $T_s + C_6 < AIT$ dan $T_s - C_6 < AIT$

Maka :

$$fact^{AIT} = 0$$

5. Menghitung *continuous/instantaneous blended consequence area* menggunakan rumusan 4.51 sampai 4.54 berdasarkan konsekuensi area yang sudah dihitung sebelumnya.

$$CA_{cmd,n}^{AIL} = CA_{cmd,n}^{AIL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.51)$$

$$CA_{cmd,n}^{AINL} = CA_{cmd,n}^{AINL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.52)$$

$$CA_{inj,n}^{AIL} = CA_{inj,n}^{AIL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AIL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.53)$$

$$CA_{inj,n}^{AINL} = CA_{inj,n}^{AINL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AINL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.54)$$

- a. Besarnya *continuous blended consequence area component damage auto-ignition likely*

- Lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL} = 0 \times 0.0054 + 74.179x (1 - 0.0054)$$

$$CA_{cmd,n}^{AIL} = 73.8ft^2$$

- Lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL} = 173660.07 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$$

$$CA_{cmd2}^{AIL} = 173660.07ft^2$$

- Lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL} = 115076.49 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$$

$$CA_{cmd3}^{AIL} = 115076.49ft^2$$

- Lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AINL} = 133214.91 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$$

$$CA_{cmd4}^{AIL} = 133214.91ft^2$$

- b. Besarnya *continuous blended consequence area component damage auto-ignition not likely*

- Lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL} = 0 \times 0.0054 + 198 \times (1 - 0.0054)$$

$$CA_{cmd1}^{AIL} = 197ft^2$$

- Lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL} = 587501.74 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$$

$$CA_{cmd2}^{AIL} = 587501.74ft^2$$

- Lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL} = 389310.21 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$$

$$CA_{cmd3}^{AIL} = 389310.21ft^2$$

- Lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AINL} = 450673.51 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$$

$$CA_{cmd4}^{AIL} = 450673.51ft^2$$

- c. Besarnya *instantaneous blended consequence area personel injury auto-ignition likely*

- Lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL} = 0 \times 0.0054 + 11.7x (1 - 0.0054)$$

$$CA_{inj1}^{AIL} = 11.6ft^2$$

- Lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL} = 20967.058 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$$

$$CA_{inj2}^{AIL} = 20967.058ft^2$$

- Lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL} = 17192.804 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$$

$$CA_{inj3}^{AIL} = 17192.804ft^2$$

- Lubang pelepasan 16 inch
 $CA_{inj4}^{AIL} = 20799.484 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$
 $CA_{inj4}^{AIL} = 20799.484 \text{ft}^2$
- d. Besarnya *instantaneous blended consequence area personel injury auto-ignition not likely*
 - Lubang pelepasan 1/4 inch
 $CA_{inj1}^{AINL} = 0 \times 0.0054 + 29.6 \times (1 - 0.0054)$
 $CA_{inj1}^{AINL} = 29.5 \text{ft}^2$
 - Lubang pelepasan 1 inch
 $CA_{inj2}^{AINL} = 56784.916 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$
 $CA_{inj2}^{AINL} = 56784.916 \text{ft}^2$
 - Lubang pelepasan 4 inch
 $CA_{inj3}^{AINL} = 49989.992 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$
 $CA_{inj3}^{AINL} = 49989.992 \text{ft}^2$
 - Lubang pelepasan 16 inch
 $CA_{inj4}^{AINL} = 61371.789 \times 1 + 0 \times (1 - 1)$
 $CA_{inj4}^{AINL} = 61371.789 \text{ft}^2$
- 6. Menghitung *AIT blended consequence area* untuk kerusakan komponen menggunakan rumusan 4.55 dan untuk cedera personel dengan menggunakan rumusan 4.56 di bawah ini.

$$CA_{cmd,n}^{flam} = CA_{cmd,n}^{AIL} \times fact^{AIT} + CA_{cmd,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (4.55)$$

$$CA_{inj,n}^{flam} = CA_{inj,n}^{flam-AIL} \times fact^{AIT} + CA_{inj,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (4.56)$$

- a. Besarnya *AIT blended consequence area* untuk *component damage*
 - Lubang pelepasan 1/4 inch
 $CA_{cmd1}^{flam} = 73.8 \times 0 + 11.6 \times (1 - 0)$
 $CA_{cmd1}^{flam} = 11.6 \text{ft}^2$
 - Lubang pelepasan 1 inch
 $CA_{cmd2}^{flam} = 173660.07 \times 0 + 20967.058 \times (1 - 0)$
 $CA_{cmd2}^{flam} = 20967.058 \text{ft}^2$
 - Lubang pelepasan 4 inch
 $CA_{cmd3}^{flam} = 115076.49 \times 0 + 17192.804 \times (1 - 0)$

$$CA_{cmd3}^{flam} = 17192.804ft^2$$

- Lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{flam} = 133214.91 \times 0 + 20799.484 \times (1 - 0)$$

$$CA_{cmd4}^{flam} = 20799.484ft^2$$

- b. Besarnya AIT *blended consequence area* untuk *personel injury* adalah :

- Lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam} = 197 \times 0 + 29.5 \times (1 - 0)$$

$$CA_{inj1}^{flam} = 29.5ft^2$$

- Lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam} = 587501.74 \times 0 + 56784.916 \times (1 - 0)$$

$$CA_{inj2}^{flam} = 56784.916ft^2$$

- Lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{flam} = 389310.21 \times 0 + 49989.992 \times (1 - 0)$$

$$CA_{inj3}^{flam} = 49989.992ft^2$$

- Lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{flam} = 450673.51 \times 0 + 61371.789 \times (1 - 0)$$

$$CA_{inj4}^{flam} = 61371.789ft^2$$

1.3.2.2. Menghitung konsekuensi kegagalan : *piping system*

Detail langkah-langkah dalam perhitungan konsekuensi ialah :

1. Menentukan pelepasan fluida dan sifat-sifatnya, termasuk fase pelepasannya.

Fluida representatif yang paling sesuai dengan fluida yang terkandung dalam sistem bertekanan akan dievaluasi dan dipilih dari fluida representatif seperti yang ditampilkan pada Tabel B.1 Lampiran B.

- a. Memilih kelompok fluida representatif

Pemilihan fluida representatif dipengaruhi oleh jenis fluida yang diproses didalam *pressure vessel*. Fluida yang dijadikan objek penelitian dalam tugas akhir ini adalah LPG. Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana, yang termasuk dalam gugus C₃.

- b. Menentukan fase penyimpanan fluida
Fase fluida yang disimpan dalam *pressure vessel* ialah cair atau *stored liquid*.
- c. Menentukan sifat-sifat fluida yang disimpan untuk *stored liquid*.
 $\rho = 33.6 \text{ lb/ft}^3$
 $\text{AIT} = 1157^\circ\text{Rankine}$
 $\text{NBP} = 370^\circ\text{Rankine}$
- d. Menentukan fase fluida stabil setelah terlepas ke atmosfer.
Fluida yang dianalisis disimpan dalam bentuk cair dan akan berubah fase menjadi gas pada saat terlepas ke udara. Fluida LPG memiliki nilai NBP sebesar (-6.9°F) atau dibawah 80°F , sehingga fase fluida stabil dimodelkan sebagai gas.

2. Memilih set ukuran lubang untuk menentukan kemungkinan konsekuensi pada perhitungan resiko.

Ukuran lubang pelepasan yang ditunjukkan pada Tabel B.4 Lampiran B digunakan pada analisis konsekuensi level 1 dan 2. Pemilihan ukuran lubang pelepasan didasarkan pada tipe peralatan dan ukurannya. Annex A API 581 memberikan keterangan untuk *pressure vessel*, empat ukuran lubang pelepasan diasumsikan untuk semua ukuran dan tipe *pressure vessel*. Sedangkan ukuran lubang pelepasan untuk pipa diasumsikan maksimal sesuai ukuran diameter pipa tersebut, misalnya pipa dengan diameter 2 inch memiliki ukuran lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch, 1 inch, dan 2 inch (*rupture*).

- a. Menentukan diameter lubang pelepasan berdasarkan Tabel A.4 lampiran C
Ukuran lubang pelepasan untuk pipa 2 inch :
 - *Small* (d_1) = $\frac{1}{4}$ inch
 - *Medium* (d_2) = 1 inch
 - *Rupture* (d_4) = 2 inch
- b. Menentukan nilai frekuensi kegagalan *generic*, gff, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan berdasarkan Tabel A.1 lampiran A.

- *Small* (gff_1) = 8.00E-06
- *Medium* (gff_2) = 2.00E-07
- *Rupture* (gff_4) = 6.00E-05

c. Menentukan nilai frekuensi kegagalan *generic* total.

$$gff_{total} = 7.02E-05$$

3. Menghitung laju pelepasan

Laju pelepasan bergantung pada sifat-sifat fisik material (fluida), fase awal, kondisi proses pengoperasian, dan ukuran lubang pelepasan yang telah ditentukan. Laju pelepasan dapat dihitung dengan menggunakan rumusan 4.57 berikut ini apabila tekanan penyimpanan lebih besar dari tekanan transisi.

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (4.57)$$

Laju pelepasan dapat dihitung menggunakan rumusan 4.58 berikut ini apabila tekanan penyimpanan kurang dari tekanan transisi.

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]} \quad (4.58)$$

Dimana :

C_d = *discharge coefficient*

C_p = *customary conversion factors*

A_n = *release hole size area* (inch²)

P_s = tekanan penyimpanan (psi)

P_{atm} = tekanan atmosfer (psi)

T_s = suhu penyimpanan (°Rankine)

R = konstanta gas *universal* (lb-mol°R)

g_c = konstanta gravitasi lb_m-ft/lb_f-s²

k = *Ideal Gas Specific Heat Capacity Ratio*

c. Menghitung *constant pressure specific heat capacity*

Constant pressure specific heat capacity dapat dihitung menggunakan persamaan 4.59 berikut ini :

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 \quad (4.59)$$

Dimana :

$A = 2.63$

$B = 0.32$

$$C = -1.3$$

$$D = 1.47$$

$$T = 308^\circ\text{Rankine}$$

Sehingga

$$C_p = 2.63 + (0.32 \times 308) + (-1.3)(308)^2 + (1.47)(308)^3$$

$$C_p = 2.63 + 98 + (-127906) + 42896364.5 \\ = 2.25\text{E}+04 \text{ Btu/kmol-}^\circ\text{R}$$

- d. Menghitung *Ideal Gas Specific Heat Capacity Ratio*
Ideal Gas Specific Heat Capacity Ratio dihitung menggunakan persamaan 4.60 berikut ini :

$$k = \frac{C_p + R}{C_p} \quad (4.60) \\ = \frac{(2.25 \times 10^4) + 1545}{2.25 \times 10^4} \\ = 1.073$$

- e. Menghitung tekanan transisi

Tekanan transisi merupakan tekanan pada saat *flow regime* berubah dari *sonic* menjadi *sub-sonic*. Tekanan transisi dihitung menggunakan persamaan 4.61 di bawah ini :

$$P_{trans} = P_{atm} + \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k}{k-1}} \\ = 14.5 + \left(\frac{1.0735+1}{2}\right)^{\frac{1.0735}{1.0735-1}} \quad (4.61) \\ = 17.3 \text{ psi}$$

- f. Menghitung laju pelepasan

Laju pelepasan dihitung menggunakan rumusan 4.57 atau 4.58 di atas dipilih yang paling sesuai, dimana :

$$P_s = 175 \text{ psi}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

Dapat disimpulkan bahwa $P_s > P_{trans}$, maka besarnya laju korosi dihitung menggunakan persamaan 4.57 di atas. Berikut ini merupakan contoh perhitungan laju pelepasan pada lubang 1 inch :

$$\begin{aligned}
 W_2 &= \frac{0.9}{1} \times 0.79 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555}\right) \left(\frac{2}{1.0735+1}\right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}} \\
 &= 0.9 \times 0.79 \times 175 \times 0.045 \\
 &= 5.57 \text{ lb/s}
 \end{aligned}$$

Besarnya laju pelepasan pada masing-masing ukuran lubang pelepasan ialah :

- $W_1 = 0.35 \text{ lb/s}$
- $W_2 = 5.57 \text{ lb/s}$
- $W_3 = 89.1 \text{ lb/s}$

4. Mengestimasi masa total dari fluida yang mungkin terlepas

API RBI memberikan keterangan untuk konsekuensi kegagalan dari sebuah peralatan dievaluasi ialah mengombinasikan dengan adanya peralatan lain yang dapat berkontribusi menambah massa fluida yang terlepas. Massa fluida yang terlepas dapat dihitung menggunakan rumusan 4.62 berikut ini :

$$Mass_{avail} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}] \quad (4.62)$$

Dimana :

$Mass_{comp}$: massa peralatan yang dianalisis

$Mass_{add}$: massa tambahan yang dapat terlepas selama 3 menit

$Mass_{inv}$: massa komponen lain yang terdapat dalam *inventory group*

- a. Menghitung massa komponen, $Mass_{comp}$, pada peralatan yang dianalisis

Massa komponen dihitung menggunakan rumusan 4.63 di bawah ini :

$$Mass_{comp} = \rho \times 50\% \times V \quad (4.63)$$

Dimana :

$$\rho = 33.6 \text{ lb/ft}^3$$

$$V = 5000 \text{ m}^3$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 Mass_{comp} &= 33.6 \times 50\% \times 33.49 \\
 &= 562.855 \text{ lbs}
 \end{aligned}$$

- b. Menghitung massa pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $Mass_{comp,i}$.

TLS memiliki 4 buah *pressure vessel* dengan diameter yang sama. Massa fluida pada masing-masing peralatan sama dengan jumlah massa fluida yang dianalisis, sehingga dapat disimpulkan bahwa :

$$\begin{aligned} mass_{pipe4} &= 33.6 \times 50\% \times 267.95 \\ &= 4502.84 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- c. Menghitung massa total pada *inventory group*, $Mass_{inv}$.

$$\begin{aligned} \sum mass_{inv} &= \sum_{i=1}^n mass_{comp,i} \\ &= 4502.84 \\ &= 4502.84 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- d. Menghitung *flow rate* untuk diameter 8 inch menggunakan persamaan 4.64 di bawah ini :

$$W_{max8} = \frac{C_d}{C_2} \times A_8 \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times gc}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (4.64)$$

Dengan, $A_8 = 50.3 \text{ inch}^2$

Didapatkan :

$$W_{max8} = \frac{0.9}{1} \times 50.3 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735+1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

$$W_{max8} = 357 \text{ lbs}$$

- e. Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus 4.65 berikut ini :

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}] \quad (4.65)$$

Besarnya massa tambahan untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan adalah :

- Untuk lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch

$$\begin{aligned} mass_{add1} &= 180 \times \min[0.35, 375] \\ &= 62.6 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- Untuk lubang pelepasan 1 inch

$$mass_{add2} = 180 \times \min[5.57, 375]$$

$$= 1002 \text{ lbs}$$

- Untuk lubang pelepasan 2 inch

$$mass_{add3} = 180 \times \min[22.3, 375]$$

$$= 4007.3035 \text{ lbs}$$

- f. Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 4.62 di atas. Didapatkan :

- $Mass_{avail}$ pada lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch

$$Mass_{avail1} = \min[(562.85 + 62.6), 40525.59]$$

$$= 625.47 \text{ lbs}$$

- $Mass_{avail}$ pada lubang pelepasan 1 inch

$$Mass_{avail2} = \min[(562.85 + 1002), 40525.59]$$

$$= 1564.68 \text{ lbs}$$

- $Mass_{avail}$ pada lubang pelepasan 2 inch

$$Mass_{avail3} = \min[(562.85 + 64193.43), 40525.59]$$

$$= 4570.26 \text{ lbs}$$

2. Menentukan tipe pelepasan, *continous* atau *Instantaneous*, untuk menentukan metode yang digunakan untuk memodelkan dispersi dan konsekuensi.

API RBI memberikan dua pemodelan tipe pelepasan yaitu:

- a. *Instantaneous Release* – pelepasan sesaat atau *puff release* adalah pelepasan yang terjadi dengan sangat cepat sehingga cairan menyebar seperti awan yang besar atau *pool*.
- b. *Continuous Release* – pelepasan terus-menerus atau *plume release* adalah pelepasan yang terjadi selama jangka waktu yang lama, yang memungkinkan cairan untuk menyebar dalam bentuk elips memanjang (tergantung kondisi cuaca).

Penentuan tipe pelepasan ditentukan berdasarkan kriteria dibawah ini :

- Apabila ukuran lubang pelepasan adalah 6.35 mm [0.25 inch], maka tipe pelepasan adalah *continuous*.

- Apabila waktu (t_n) kurang dari 180 dt atau massa yang terlepas lebih dari 4.536 kgs [10.000 lbs] maka tipe pelepasan adalah *instantaneous*.

Besarnya waktu untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan dihitung menggunakan persamaan 4.66 berikut ini :

$$t_n = \frac{C_3}{W_n} \quad (4.66)$$

Dengan nilai $C_3 = 10000$, maka didapatkan :

- Waktu untuk lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch :
 $t_1 = 28747.511$ detik
- Waktu untuk lubang pelepasan 1 inch :
 $t_2 = 1796.719$ detik
- Waktu untuk lubang pelepasan 2 inch :
 $t_3 = 449.179$ detik

Tipe pelepasan untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan dapat disimpulkan :

- Ukuran lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch = *continuous release*
- Ukuran lubang pelepasan 1 inch = *continuous release*
- Ukuran lubang pelepasan 2 inch = *continuous release*

3. Mengestimasi dampak sistem pendeteksi dan isolasi pada besarnya pelepasan

Perusahaan pengolahan petrokimia, biasanya memiliki berbagai sistem deteksi, isolasi, dan mitigasi yang dirancang untuk mengurangi efek dari pelepasan bahan-bahan berbahaya. Tabel B.5 Lampiran B menunjukkan kriteria sistem deteksi dan isolasi.

- a. Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis support yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

- b. Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan Tabel B.5 Lampiran B

Dari penjelasan langkah 1 di atas maka dapat ditentukan klasifikasi sistem deteksi yaitu B.

- c. Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan Tabel B.5 Lampiran B.

Berdasarkan penjelasan di langkah 1 dapat ditentukan klasifikasi sistem isolasi ialah B.

- d. Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan Tabel B.6 Lampiran B

Dari Tabel B.6 Lampiran B untuk sistem deteksi B dan sistem isolasi B nilai *reduction factor*, $fact_{di}$, adalah 0.15

- e. Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, $Id_{max,n}$, menggunakan Tabel B.7 Lampiran B.

Nilai durasi kebocoran dari Tabel B.7 Lampiran B, dapat disimpulkan :

- Id_{max} untuk ¼ inch : 40 menit
- Id_{max} untuk 1 inch : 30 menit
- Id_{max} untuk 4 inch : 20 menit

4. Menentukan laju pelepasan dan masa untuk analisis konsekuensi

Perhitungan pada tipe pelepasan *continuous*, pelepasan dimodelkan sebagai *steady state plume*. Oleh karena itu, laju pelepasan (lb/s) digunakan sebagai input analisis konsekuensi. Sedangkan untuk pelepasan sesaat, massa pelepasan digunakan dalam melakukan analisis. Rumusan 4.67 berikut ini digunakan dalam menghitung laju pelepasan *continuous release*.

$$Rate_n = W_n (1 - fact_{di}) \quad (4.67)$$

Rumusan 4.68 di bawah ini digunakan untuk menghitung massa pelepasan *instantaneous release*.

$$Mass_n = \min [(rate_n \times Id_n), mass_{avail,n}] \quad (4.68)$$

Dimana :

$Rate_n$: laju pelepasan (lb/s)

Id_n : durasi kebocoran (*second*)

- a. Menghitung laju pelepasan, $rate_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 4.67 di atas.

Rumusan diatas digunakan untuk menghitung laju pelepasan apabila tipe pelepasannya adalah *continuous release*. Tipe pelepasan *continuous release* dari hasil analisis di atas ialah pada lubang pelepasan ¼ inch, 1 inch, dan 2 inch.

- Rate₁ = 0.3 lb/s
- Rate₂ = 4.73 lb/s
- Rate₃ = 17.8 lb/s

- b. Menghitung durasi kebocoran, Id_n, menggunakan rumusan 4.69 berikut :

$$Id_n = \min \left[\left(\frac{mass_{avail,n}}{rate_n} \right), (60 \times Id_{max,n}) \right] \quad (4.69)$$

Durasi kebocoran, Id_n, diaplikasikan pada tipe pelepasan *instantaneous release*. Tidak terdapat tipe pelepasan *instantaneous release* dari hasil analisis di atas sehingga nilai durasi kebocoran tidak perlu dihitung.

- c. Menghitung massa pelepasan, mass_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 4.68 di atas.

Rumusan di atas gunakan untuk menghitung massa pelepasan apabila tipe pelepasan adalah *instantaneous release*. Tidak ada tipe pelepasan *instantaneous release* dari hasil analisis di atas, sehingga tidak perlu menghitung massa pelepasan.

5. Menghitung konsekuensi kebakaran/ledakan

Konsekuensi area diestimasikan dari perhitungan laju pelepasan (untuk pelepasan *continuous*) atau masa pelepasan (untuk pelepasan *instantaneous*).

5.3.1. Menghitung konsekuensi area *component damage*

Konsekuensi area *component damage* dibedakan menjadi 4, yaitu :

- *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.70 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = a(rate_n)^b \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.70)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.8 Lampiran B.

$$a = 49.5$$

$$b = 1$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Component Damage Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.71 berikut ini :

$$effrate_n^{AINL-CONT} = rate_n \quad (4.71)$$

Tipe pelepasan *continuous* adalah pada diameter ¼ inch, 1 inch, dan 2 inch, sehingga :

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT} = 49.5(0.3)^1 \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT} = 11.7 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AINL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT} = 49.5(4.73)^1 \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT} = 187 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AINL-CONT} = 4.73 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL-CONT} = 49.5(17.8)^1 \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{cmd3}^{AINL-CONT} = 705 \text{ ft}^2$$

$$effrate_3^{AINL-CONT} = 17.8 \text{ lb/s}$$

- *Auto-ignition Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.72 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} = a(rate_n)^b \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.72)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.8 Lampiran B.

$$a = 313.6$$

$$b = 1$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Component Damage Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.73 berikut ini :

$$effrate_n^{AIL-CONT} = rate_n \quad (4.73)$$

Tipe pelepasan *continuous* adalah pada diameter ¼ inch, 1 inch, dan 2 inch, sehingga :

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT} = 313.6(0.3)^1 \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT} = 74.2 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AIL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT} = 313.6(4.73)^1 \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT} = 1187 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT} = 4.73 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL-CONT} = 313.6(17.8)^1 \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT} = 4468 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT} = 17.8 \text{ lb/s}$$

- *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.74 berikut ini :

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} = a(mass_n)^b \cdot \left(\frac{1-fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.74)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.8 Lampiran B.

$$a = 27.96$$

$$b = 0.72$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Component Damage Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.75 berikut ini :

$$effmass_n^{AINL-INST} = mass_n \quad (4.75)$$

Tidak ada tipe pelepasan *instantaneous release*, sehingga tidak perlu dihitung besarnya *consequence area component damage, Auto-ignition Not Likely, Instantaneous release*.

- *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Component Damage Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.76 berikut ini:

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST} = a(mass_n)^b \cdot \left(\frac{1-fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.76)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.8 Lampiran B.

$$a = 522.9$$

$$b = 0.63$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Component Damage Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.77 berikut ini :

$$effmass_n^{AIL-INST} = mass_n \quad (4.77)$$

Tidak ada tipe pelepasan *instantaneous release*, sehingga tidak perlu dihitung besarnya *consequence area component damage, Auto-ignition Likely, Instantaneous release*.

5.3.2. Menghitung konsekuensi area *personel injury*

- *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.78 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AINL-CONT} = [a (effrate_n^{AINL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.78)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.9 Lampiran B.

$$a = 125.2$$

$$b = 1$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Personel Injury Auto-ignition Not Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.79 berikut ini :

$$effrate_n^{AINL-CONT} = rate_n \quad (4.79)$$

Tipe pelepasan *continuous* adalah pada diameter ¼ inch, 1 inch, dan 2 inch, sehingga :

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT} = [125.2(0.3)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT} = 29.6 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AINL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-CONT} = [125.2(4.73)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj2}^{AINL-CONT} = 474 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AINL-CONT} = 4.73 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-CONT} = [125.2(17.8)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj2}^{AINL-CONT} = 1784 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AINL-CONT} = 17.8 \text{ lb/s}$$

- *Auto-ignition Likely, Continuous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.80 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AIL-CONT} = [a (effrate_n^{AIL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.80)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.9 Lampiran B.

$$a = 836.7$$

$$b = 1$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Personel Injury Auto-ignition Likely, Continuous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.40 berikut ini :

$$effrate_n^{AIL-CONT} = rate_n \quad (4.81)$$

Tipe pelepasan *continuous* adalah pada diameter ¼ inch, 1 inch, dan 2 inch, sehingga :

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT} = [836.7(0.3)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT} = 198 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AIL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT} = [836.7(4.73)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT} = 3167 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT} = 4.73 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-CONT} = [836.7(17.8)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$CA_{inj3}^{AIL-CONT} = 11921.461 \text{ ft}^2$$

$$effrate_3^{AIL-CONT} = 17.8 \text{ lb/s}$$

- *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.82 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AINL-INST} = [a (effrate_n^{AINL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.82)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.9 Lampiran B.

$$a = 57.72$$

$$b = 0.75$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Personel Injury Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.83 berikut ini :

$$effrate_n^{AINL-INST} = mass_n \quad (4.83)$$

Tidak ada tipe pelepasan *instantaneous release*, sehingga tidak perlu dihitung besarnya *consequence area injury personel, Auto-ignition Not Likely, Instantaneous release*.

- *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*

Konsekuensi area *Personel Injury, Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan rumusan 4.84 berikut ini:

$$CA_{inj,n}^{AIL-INST} = [a (effrate_n^{AIL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.84)$$

Nilai (a) dan (b) diambil dari Tabel B.9 Lampiran B.

$$a = 1769$$

$$b = 0.63$$

Besarnya laju pelepasan untuk *Personel Injury Auto-ignition Likely, Instantaneous Release*, dapat dihitung menggunakan persamaan 4.85 berikut ini :

$$effrate_n^{AIL-INST} = mass_n \quad (4.85)$$

Tidak ada tipe pelepasan *instantaneous release*, sehingga tidak perlu dihitung besarnya *consequence area injury personel, Auto-ignition Likely, Instantaneous release*.

5.3.3. Menghitung *instantaneous/continuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan persamaan 4.86, 4.87, atau 4.88 yang sesuai.

- a. Nilai *blending factor* untuk tipe pelepasan *continuous* dihitung menggunakan persamaan 4.86 berikut ini :

$$fact_n^{IC} = \min \left[\left\{ \frac{rate_n}{C_5} \right\}, 1.0 \right] \quad (4.86)$$

Dengan nilai $C_5 = 55.6$

- b. Nilai *blending factor instantaneous* apabila konstanta tidak disediakan dalam tabel 5.8 atau 5.9 maka nilai digunakan persamaan 4.87 di bawah ini :

$$fact_n^{IC} = 0.0 \quad (4.87)$$

- c. Nilai *blending factor* untuk pelepasan *instantaneous* tidak disediakan, sehingga digunakan persamaan 4.88 di bawah ini :

$$fact_n^{IC} = 1.0 \quad (4.88)$$

Nilai-nilai *blending factor* dipilih berdasarkan tipe pelepasan yang sesuai untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, sehingga nilai masing-masing :

- a. Ukuran lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch

Tipe pelepasan : *Continuous release*

$$fact_1^{IC} = \min \left[\left\{ \frac{0.3}{55.6} \right\}, 1.0 \right]$$

$$fact_1^{IC} = \min[0.0054, 1.0]$$

$$fact_1^{IC} = 0.0054$$

- b. Ukuran lubang pelepasan 1 inch

Tipe pelepasan : *Continuous release*

$$fact_2^{IC} = 1$$

- c. Ukuran lubang pelepasan 2 inch

Tipe pelepasan : *Continuous release*

$$fact_3^{IC} = 1$$

- 5.3.4. Menghitung *AIT blending factor* menggunakan rumusan 4.89, 4.90, dan 4.91 yang sesuai.

$$fact^{AIT} = 0 \quad (4.89)$$

$$\text{apabila } T_s + C_6 \leq AIT$$

$$fact^{AIT} = \frac{(T_s - AIT + C_6)}{2 \times C_6} \quad (4.90)$$

$$\text{apabila } T_s + C_6 > AIT > T_s - C_6$$

$$fact^{AIT} = 1 \quad (4.91)$$

$$\text{apabila } T_s - C_6 \geq AIT$$

Dimana :

$$T_s = 555^\circ \text{Rankine}$$

$$C_6 = 100$$

$$AIT = 1157^\circ \text{Rankine}$$

$$T_s + C_6 = 655^\circ \text{Rankine}$$

$$T_s - C_6 = 455^\circ \text{Rankine}$$

Sehingga, $T_s + C_6 < AIT$ dan $T_s - C_6 < AIT$

Maka :

$$fact^{AIT} = 0$$

- 5.3.5. Menghitung *continuous/instantaneous blended consequence area* menggunakan rumusan 4.92 sampai 4.95 berdasarkan konsekuensi area yang sudah dihitung sebelumnya.

$$CA_{cmd,n}^{AIL} = CA_{cmd,n}^{AIL-INST} x fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} x (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.92)$$

$$CA_{cmd,n}^{AINL} = CA_{cmd,n}^{AINL-INST} x fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} x (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.93)$$

$$CA_{inj,n}^{AIL} = CA_{inj,n}^{AIL-INST} x fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AIL-CONT} x (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.94)$$

$$CA_{inj,n}^{AINL} = CA_{inj,n}^{AINL-INST} x fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AINL-CONT} x (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.95)$$

- a. Besarnya *continuous blended consequence area component damage auto-ignition likely*

- Lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL} = 0 x 0.0054 + 74.179 x (1 - 0.0054)$$

$$CA_{cmd,n}^{AIL} = 73.8 \text{ft}^2$$

- Lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL} = 0 x 0.09 + 1186.8743 x (1 - 0.09)$$

$$CA_{cmd2}^{AIL} = 1085.88 \text{ft}^2$$

- Lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL} = 0 x 0.32 + 4468.2325 x (1 - 0.32)$$

$$CA_{cmd3}^{AIL} = 3036.9324 \text{ft}^2$$

- b. Besarnya *continuous blended consequence area component damage auto-ignition not likely*

- Lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL} = 0 x 0.0054 + 198 x (1 - 0.0054)$$

$$CA_{cmd1}^{AINL} = 197 \text{ft}^2$$

- Lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL} = 0 x 0.09 + 3166.64 x (1 - 0.09)$$

$$CA_{cmd2}^{AINL} = 2897.20 \text{ft}^2$$

- Lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL} = 0 x 0.32 + 1783.87 x (1 - 0.32)$$

$$CA_{cmd3}^{AINL} = 1212.45 \text{ft}^2$$

c. Besarnya *instantaneous blended consequence area personel injury auto-ignition likely*

- Lubang pelepasan ¼ inch
 $CA_{inj1}^{AIL} = 0 \times 0.0054 + 11.7 \times (1 - 0.0054)$
 $CA_{inj1}^{AIL} = 11.6 \text{ft}^2$
- Lubang pelepasan 1 inch
 $CA_{inj2}^{AIL} = 0 \times 0.09 + 187.27 \times (1 - 0.09)$
 $CA_{inj2}^{AIL} = 171.33 \text{ft}^2$
- Lubang pelepasan 2 inch
 $CA_{inj3}^{AIL} = 0 \times 0.32 + 705 \times (1 - 0.32)$
 $CA_{inj3}^{AIL} = 479.17 \text{ft}^2$

d. Besarnya *instantaneous blended consequence area personel injury auto-ignition not likely*

- Lubang pelepasan ¼ inch
 $CA_{inj1}^{AINL} = 0 \times 0.0054 + 29.6 \times (1 - 0.0054)$
 $CA_{inj1}^{AINL} = 29.5 \text{ft}^2$
- Lubang pelepasan 1 inch
 $CA_{inj2}^{AINL} = 0 \times 0.09 + 473.84 \times (1 - 0.09)$
 $CA_{inj2}^{AINL} = 433.52 \text{ft}^2$
- Lubang pelepasan 2 inch
 $CA_{inj3}^{AINL} = 0 \times 0.32 + 1783.87 \times (1 - 0.32)$
 $CA_{inj3}^{AINL} = 1212.45 \text{ft}^2$

5.3.6. Menghitung AIT *blended consequence area* untuk kerusakan komponen menggunakan rumusan 4.96 dan untuk cedera personel dengan menggunakan rumusan 4.97 di bawah ini.

$$CA_{cmd,n}^{flam} = CA_{cmd,n}^{AIL} \times fact^{AIT} + CA_{cmd,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (4.96)$$

$$CA_{inj,n}^{flam} = CA_{inj,n}^{flam-AIL} \times fact^{AIT} + CA_{inj,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (4.97)$$

a. Besarnya AIT *blended consequence area* untuk *component damage*

- Lubang pelepasan ¼ inch
 $CA_{cmd1}^{flam} = 73.8 \times 0 + 11.6 \times (1 - 0)$
 $CA_{cmd1}^{flam} = 11.6 \text{ft}^2$

- Lubang pelepasan 1 inch
 $CA_{cmd2}^{flam} = 1085.88 \times 0 + 171.33 \times (1 - 0)$
 $CA_{cmd2}^{flam} = 171.33 \text{ft}^2$
- Lubang pelepasan 2 inch
 $CA_{cmd3}^{flam} = 3036.93 \times 0 + 479.16 \times (1 - 0)$
 $CA_{cmd3}^{flam} = 479.16 \text{ft}^2$

b. Besarnya AIT *blended consequence area* untuk *personel injury* adalah :

- Lubang pelepasan ¼ inch
 $CA_{inj1}^{flam} = 197 \times 0 + 29.5 \times (1 - 0)$
 $CA_{inj1}^{flam} = 29.5 \text{ft}^2$
- Lubang pelepasan 1 inch
 $CA_{inj2}^{flam} = 2897.19 \times 0 + 433.52 \times (1 - 0)$
 $CA_{inj2}^{flam} = 433.52 \text{ft}^2$
- Lubang pelepasan 2 inch
 $CA_{inj3}^{flam} = 1212.44 \times 0 + 1212.44 \times (1 - 0)$
 $CA_{inj3}^{flam} = 1212.44 \text{ft}^2$

6. Menghitung konsekuensi *toxic*

Konsekuensi keracunan dihitung apabila terdapat kandungan asam sulfida (H_2S) dalam fluida yang dianalisis. Fluida LPG tidak memiliki kandungan asam sulfida, sehingga konsekuensi *toxic* tidak perlu dihitung.

7. Menghitung *non-flammable, non-toxic consequence*

Konsekuensi *non-flammable* dan *non-toxic* dihitung pada fluida yang tidak mudah terbakar dan tidak beracun, namun berbahaya. Salah satu contohnya ialah kabut. Fluida yang dianalisis dalam tugas akhir ini ialah LPG. Fluida LPG merupakan fluida yang tidak berwarna namun mudah terbakar, sehingga tidak termasuk dalam kategori ini.

8. Menentukan konsekuensi kerusakan akhir peralatan dan cedera personil

Konsekuensi area untuk kerusakan komponen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.98 berikut ini :

$$CA_{cmd}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times CA_{cmd,n}^{flam}}{gff_{total}} \right) \quad (4.98)$$

$$= 943.71 \text{ ft}^2$$

Konsekuensi area untuk cedera personel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.99 berikut ini :

$$CA_{inj}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times CA_{inj,n}^{flam}}{gff_{total}} \right) \quad (4.99)$$

$$= 2387.88 \text{ ft}^2$$

9. Menghitung konsekuensi akhir

Konsekuensi area akhir untuk kerusakan komponen dihitung dengan persamaan 4.100 berikut ini :

$$CA_{cmd} = \max[CA_{cmd}^{flam}, CA_{cmd}^{tox}, CA_{cmd}^{nfmt}] \quad (4.100)$$

Konsekuensi area akhir untuk cedera personel dihitung dengan persamaan 4.101 berikut ini :

$$CA_{inj} = \max[CA_{inj}^{flam}, CA_{inj}^{tox}, CA_{inj}^{nfmt}] \quad (4.101)$$

Konsekuensi akhir dihitung menggunakan rumusan 4.102 di bawah ini :

$$CA = \max[CA_{cmd}, CA_{inj}] \quad (4.102)$$

$$= \max[943.71, 2387.88]$$

$$= 2387.88 \text{ ft}^2$$

Detail perhitungan di atas merupakan perhitungan untuk *pressure vessel* V110, untuk detail perhitungan *pressure vessel* V120, V130, dan V140 dapat dilihat pada Lampiran B. Sedangkan detail perhitungan konsekuensi kegagalan untuk *piping systems* dapat dilihat pada lampiran E.

4.3.4. Analisis Resiko

Resiko dihitung menggunakan persamaan 4.103 berikut ini:

$$Risk = PoF \times CoF \quad (4.103)$$

Dimana :

PoF = Probabilitas kegagalan

CoF = Konsekuensi kegagalan

Resiko didapatkan dari hasil perkalian probabilitas kegagalan dengan konsekuensi kegagalan. Penentuan tingkat resiko dilakukan dengan membandingkan nilai resiko yang didapatkan dengan *risk target*. Apabila hasil perbandingan menunjukkan bahwa resiko lebih besar dari *risk target*, maka

akan dilakukan langkah mitigasi. Langkah mitigasi dapat dilakukan dengan cara melakukan inspeksi sesuai dengan jadwal dan metode yang diharapkan dapat meminimalkan nilai resiko tersebut.

Analisis resiko pada tugas akhir ini, untuk pressure vessel dilakukan perbandingan resiko pada RBI date dengan risk target. Sedangkan untuk *piping system*, analisis resiko dibatasi sampai penentuan tingkat resiko.

1. Menghitung besarnya resiko pada pressure vessel

a. Menghitung besarnya resiko pada RBI date

Besarnya resiko pada *pressure vessel* V110 adalah :

$$\begin{aligned} Risk &= 0.0001430 \times 123983.004 \\ &= 17.7325 \end{aligned}$$

b. Besarnya resiko pada *plan date* (20 tahun) adalah :

$$\begin{aligned} Risk &= 0.000524 \times 123983.004 \\ &= 65.019 \end{aligned}$$

2. Menghitung dan menentukan tingkat resiko pada *piping system*

a. Menghitung dan menentukan besarnya resiko pada pipa 2 inch

- Menentukan kategori PoF

Kategori probabilitas kegagalan ditentukan oleh besarnya *damage factor*. Besarnya *damage factor* untuk pipa 2 inch adalah :

$$Df = 0.04$$

Kategori probabilitas kegagalan adalah A. Kategori probabilitas kegagalan dapat dilihat pada Tabel B.12 Lampiran B.

- Menentukan kategori CoF

Kategori konsekuensi kegagalan dipengaruhi oleh besarnya kegagalan akhir peralatan. Besarnya konsekuensi kegagalan akhir untuk pipa 2 inch adalah :

$$CoF = 2387.88 \text{ ft}^2$$

Kategori konsekuensi kegagalan ialah C. kategori konsekuensi kegagalan dapat dilihat pada Tabel B.12 Lampiran B.

- Menentukan tingkat resiko
Kategori tingkat resiko ditentukan dari hasil perkalian probabilitas kegagalan dan konsekuensi kegagalan. Tingkat resiko untuk pipa 2 inch adalah:
 $Risk = 1C$
Kategori resiko 1C berada pada tingkat *medium risk* dan termasuk dalam kategori *acceptable risk*.
- b. Besarnya resiko untuk pipa 4 inch
 - Menentukan kategori PoF
Kategori probabilitas kegagalan ditentukan oleh besarnya *damage factor*. Besarnya *damage factor* untuk pipa 4 inch adalah :
 $Df = 0.04$
Kategori probabilitas kegagalan adalah A. Kategori probabilitas kegagalan dapat dilihat pada Tabel B.12 Lampiran B.
 - Menentukan kategori CoF
Kategori konsekuensi kegagalan dipengaruhi oleh besarnya kegagalan akhir peralatan. Besarnya konsekuensi kegagalan akhir untuk pipa 4 inch adalah :
 $CoF = 69040.89 \text{ ft}^2$
Kategori konsekuensi kegagalan ialah E. kategori konsekuensi kegagalan dapat dilihat pada Tabel B.12 Lampiran B.
 - Menentukan tingkat resiko
Kategori tingkat resiko ditentukan dari hasil perkalian probabilitas kegagalan dan konsekuensi kegagalan. Tingkat resiko untuk pipa 4 inch adalah:
 $Risk = 1E$
Kategori resiko 1E berada pada tingkat *medium high risk* dan termasuk dalam kategori *acceptable risk*.

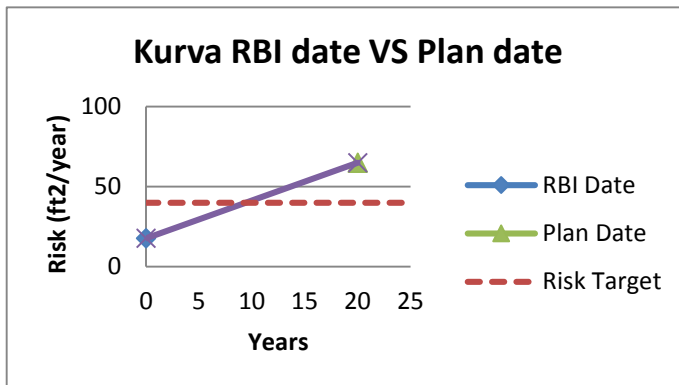
4.4. Inspection Planning

Analisis *inspection planning* dalam tugas akhir ini dilakukan pada *pressure vessel*, sedangkan untuk *pipng system* hanya

dilakukan penentuan tingkat resiko. Langkah-langkah dalam menentukan inspection planning ialah :

1. Menghitung *target inspection date*

Target date didapatkan dari perpotongan kurva resiko pada *RBI date* dengan kurva *risk target*. Kurva 4.1 di bawah ini menunjukkan perbandingan antara *RBI date* dengan *target date*.



Gambar 4. 1 kurva perbandingan *RBI date* dan *plan date*

Usia *target date* dapat dihitung dengan cara melakukan interpolasi nilai pada tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4. 10 Data perbandingan usiapada *RBI date* dan *Target date*

Data	Date	Age	Risk
<i>RBI Date</i>	22/02/2016	0	17.732595
<i>Risk Target</i>	?	?	40
<i>Plan Date</i>	22/02/2026	20	65.019514

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{y - 0}{20 - 0} = \frac{65.019 - 17.732}{22.267}$$

$$y = 9.42 \text{ tahun}$$

sehingga,

target date : 9.42 tahun setelah *RBI date*, diperkirakan pada tanggal 22 Juni 2025.

2. Menghitung *damage factor* pada *target date*
Damage factor didapatkan dengan cara interpolasi data pada tabel 4.11 berikut ini.

Tabel 4. 11 Perbandingan *damage factor* pada *RBI date* dan *plan date*

Data	DF	Risk
RBI Date	6	17.732595
Risk Target	?	40
Plan Date	22	65.019514

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1}$$

$$\frac{y-6}{22-6} = \frac{65.019-17.732}{22.267-6}$$

$$\frac{y-6}{16} = \frac{47.287}{16}$$

$$y = 13.5 \text{ atau kurang}$$

3. Menghitung *damage factor* yang baru
Tabel 4.12 di bawah ini menunjukkan nilai *damage factor* pada *RBI date* dan *plan date*.

Tabel 4. 12 perbandingan nilai *damage factor* yang baru

	RBI date	Target date	Plan date
D_f^{thin}	5	?	20
D_f^{extd}	1	?	2
D_f^{total}	6	13.5	22

- 3.1. Menghitung *thinning damage factor* yang baru

Kategori *damage factor* yang baru didapatkan dengan cara menghitung selisih *damage factor* pada *RBI date* dengan *plan date*.

$$Df = 20 - 5$$

$$= 15$$

Kategori *damage factor* yang baru yaitu 2B.

Thinning inspection effectiveness pada *plan date* :

$$2C + 2B = 3B$$

Nilai Art pada plan date : 0.19

Nilai Art pada target date dapat dihitung dengan cara interpolasi data pada tabel 4.13 di bawah ini :

Tabel 4. 13 Nilai Art pada *target date*

Art	Df (3B)
0.18	3
0.19	?
0.2	5

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1}$$

$$\frac{y-3}{5-3} = \frac{0.19-0.18}{0.20-0.18}$$

$$\frac{y-3}{2} = \frac{0.01}{0.02}$$

$$y = 4$$

Damage factor thinning yang baru adalah 4.

3.2. Menghitung *external damage factor* yang baru

Kategori *damage factor* yang baru didapatkan dengan cara menghitung selisih *damage factor* pada *RBI date* dengan *plan date*.

$$\begin{aligned} Df &= 2 - 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

Kategori *damage factor* yang baru yaitu 2B.

Thinning inspection effectiveness pada *plan date* :

$$2C + 2B = 3B$$

Nilai Art pada plan date = 0.12

Nilai *damage factor external* yang baru adalah 1.

3.3. Menghitung *damage factor total* yang baru

$$D_f^{total} = D_f^{thin} + D_f^{extd}$$

$$D_f^{total} = 4 + 1$$

$$D_f^{total} = 5$$

4. Menghitung resiko pada *plan date* setelah dilakukan inspeksi

a. Besarnya probabilitas kegagalan

$$\begin{aligned} PoF &= 0.0000306 \times 0.779 \times 5 \\ &= 0.0001192 \end{aligned}$$

- b. Besarnya konsekuensi kegagalan
 $\text{CoF} = 123983$
- c. Besarnya resiko
 $\text{Risk} = \text{PoF} \times \text{CoF}$
 $= 0.0001192 \times 123983$
 $= 14.77 \text{ ft}^2$

4.5. Analisis *Remaining Life*

Remaining life dihitung menggunakan persamaan 4.104 di bawah ini :

$$\text{Remaining life} = \frac{t_{act} - t_{rd}}{CR}$$

Dimana :

t_{act} = ketebalan pada saat inspeksi (mm)

t_{rd} = ketebalan desain (mm)

CR = *corrosion rate* (mm/tahun)

Sehingga

$$\begin{aligned} \text{Remaining life} &= \frac{59.7 - 53.7}{0.54} \\ &= 11.1 \text{ tahun} \end{aligned}$$

LAMPIRAN A


Nilai-nilai yang Dibutuhkan
dalam Perhitungan Probabilitas (PoF)

Tabel A.1 Nilai *generic failure frequency* yang disarankan

<i>Equipment Type</i>	<i>Component Type</i>	<i>gff as a Function of Hole Size (failures/yr)</i>				<i>gff_{total} (failures/yr)</i>
		<i>Small</i>	<i>Medium</i>	<i>Large</i>	<i>Rupture</i>	
<i>Compressor</i>	<i>COMPC</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	0	3.00E-05
<i>Compressor</i>	<i>COMPR</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Heat Exchanger</i>	<i>HEXSS</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Heat Exchanger</i>	<i>HEXTS</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Heat Exchanger</i>	<i>HEXTUBE</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Pipe</i>	<i>PIPE-1</i>	2.80E-05	0	0	2.60E-06	3.60E-05
<i>Pipe</i>	<i>PIPE-2</i>	2.80E-05	0	0	2.60E-06	3.60E-05
<i>Pipe</i>	<i>PIPE-4</i>	8.00E-06	2.00E-05	0	2.60E-06	3.60E-05
<i>Pipe</i>	<i>PIPE-6</i>	8.00E-06	2.00E-05	0	2.60E-06	3.60E-05
<i>Pipe</i>	<i>PIPE-8</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Pipe</i>	<i>PIPE-10</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Pipe</i>	<i>PIPE-12</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Pipe</i>	<i>PIPE-16</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Pipe</i>	<i>PIPEGT16</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Pump</i>	<i>PUMP2S</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Pump</i>	<i>PUMPR</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Pump</i>	<i>PUMP1S</i>	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
<i>Tank650</i>	<i>TANKBOTTOM</i>	7.20E-04	0	0	2.00E-06	7.20E-04

Equipment Type	Component Type	gff as a Function of Hole Size (failures/yr)				gff _{total} (failures/yr)
		Small	Medium	Large	Rupture	
Tank650	COURSE-1	7.00E-05	2.50E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Tank650	COURSE-2	7.00E-05	2.50E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Tank650	COURSE-3	7.00E-05	2.50E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Tank650	COURSE-4	7.00E-05	2.50E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Tank650	COURSE-5	7.00E-05	2.50E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Tank650	COURSE-6	7.00E-05	2.50E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Tank650	COURSE-7	7.00E-05	2.50E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Tank650	COURSE-8	7.00E-05	2.50E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Tank650	COURSE-9	7.00E-05	2.50E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Tank650	COURSE-10	7.00E-05	2.50E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Vessel/FinFan	KODRUM	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
Vessel/FinFan	COLBTM	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
Vessel/FinFan	FINFAN	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
Vessel/FinFan	FILTER	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
Vessel/FinFan	DRUM	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
Vessel/FinFan	REACTOR	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
Vessel/FinFan	COLTOP	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05
Vessel/FinFan	COLMID	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.60E-05

Note :
See references [1] through [8] for discussion of failure frequencies for equipment

	Analisa <i>Remaining Life</i> dan Penjadwalan Program Inspeksi dengan Menggunakan Metode <i>Risk Based Inspection</i> (RBI)
	Tabel A.2 Nilai Management Systems Factor

Tabel A.2.1 - Leadership and Administration

Question		Possible Score	Actual Score
1	Does the organization at the corporate or local level have a general policy statement reflecting management's commitment to Process Safety Management, and emphasizing safety and loss control issues?	10	10
2	Is the general policy statement :		
	a. Contained in manual?	2	2
	b. Posted in various location?	2	2
	c. Includes as a part of all rule booklets?	2	0
	d. Referred to in all major training programs?	2	2
	e. Used in other ways? (Describe)	2	0

3	Are responsibilities for process safety and health issues clearly defined in every manager's job description?	10	10
4	Are annual objectives in the area of process safety and health issues established for all management personnel, and are they then included as an important consideration in their regular annual appraisals?	15	15
5	What percentage of the total management team has participated in a formal training course or outside conference or seminar on process Safety Management over the last three years?	% x 10	5
6	Is there a site Safety Committee, or equivalent?	5	5
	a. Does the committee make-up represent a diagonal slice of the organization?	5	5
	b. Does the committee meet regularly and document that appropriate recommendations are implemented?	5	5
Total Points		70	61

Tabel A.2.2 - Process Safety Information

Question		Possible Score	Actual Score
1	Are material Safety Data Sheets (MSDS) available for all chemical substances used or handled in each unit?	5	5
	a. Is the maximum on-site inventory of each these chemicals listed?	2	2
	b. Is this information available to operations and maintenance personnel and any appropriate contract personnel in the unit?	2	2
	c. Are the hazardous effects, if any, or inadvertent mixing of the various materials on site clearly stated in the standard Operating Procedures and Emphasizes in operator training programs?	2	2
2	Are quality control procedures in place and practiced to ensure that all identified materials meet specifications when received and used?	10	5
3	Is up-to-date written information readily available in the unit that :		
	a. Summarizes the process chemistry?	3	3
	b. List the safe upper and lower limits for such items as temperatures, pressure, flows, and compositions?	3	3

	c. States the safety-related consequences of deviations from these limits?	3	3
4	Is a block flow diagram or simplified process flow diagram available to aid in the operator's understanding of the process?	5	5
5	Are P&IDs available for all units at the site?	10	10
6	Does documentation show all equipment in the unit is designed and constructed in compliance with all applicable codes, standards, and generally accepted good engineering practices?	8	8
7	Has all existing equipment been identified that was designed and constructed in accordance with codes, standards, or practices that are no longer in general use?	4	2
	Has it been documented that the design, maintenance, inspection and testing of such equipment will allow it to be operated in a safe manner?	4	4
8	Have written records been compiled for each piece of equipment in the process, and do they include all of the following?		
	a. Materials of construction	1	1
	b. Design codes and standards employed	1	1
	c. Electrical classification	1	1

	d. Relief system design and design basis	1	1
	e. Ventilation system design	1	0
	f. Safety systems, including interlocks, detection and suppression systems	1	1
9	Are procedures in place to ensure that each individual with responsibility for managing the process has a working knowledge of the process safety information appropriate to his or her responsibilities?	5	3
10	Is a documented compilation of all the above Process Safety Information maintained at the facility as a reference The individual elements of the Information may exist in various forms and locations, but the compilation should confirm the existence and location of each element	8	6
Total Points		80	68

Tabel A.2.3 - Process Hazard Analysis

Question		Possible Score	Actual Score
1	What percentage of all process units that handle hazardous chemicals at the facility have had a formal Process Hazard Analysis (PHA) within the last five years?	% x 10	9
2	Has a priority order been established for conducting future PHAs?	5	5
	Does the basis for the prioritization address the following factors?:	1	1
	a. The quantity of toxic, flammable, or explosive material at the site	1	1
	b. The level of toxicity or reactivity of the materials	1	1
	c. The number of people in the immediate proximity of the facility, including both onsite and offsite locations	1	1
	d. Process complexity	1	1
	e. Severe operating conditions or conditions that can cause corrosion or erosion	1	1

3	Do the PHAs conducted to date address:		
	a. The hazards of the process?	2	2
	b. A review of previous incident/accident reports from the unit being analyzed to identify any previous incidents that had a potential for catastrophic consequences?	2	2
	c. Engineering and administrative controls applicable to the hazards and their interrelationships?	2	2
	d. Consequences of failure of engineering and administrative controls?	2	2
	e. Facilities siting?	2	2
	f. Human factors?	2	2
	g. A qualitative evaluation of the possible safety and health effects of failure	2	0
4	Based on the most recent PHA conducted:		
	a. Was the team leader experienced in the technique being employed?	3	3
	b. Had the team leader received formal training in the method being employed?	3	3
	c. Was at least one member of the team an expert on the process being analyzed?	3	2

	d. Were all appropriate disciplines represented on the team or brought in as required during the analysis?	3	2
	e. Was at least one member of the team a person who did not participate in the original design of the facility?	3	2
	Is a formal system in place to promptly address the findings and recommendations of a Process Hazard Analysis to ensure that the recommendations are resolved in a timely manner and that the resolution is documented?	8	5
5	a. If so, are timetables established for implementation?	3	2
	b. Does the system require that decisions concerning recommendations in PHAs and the status of implementation be communicated to all operations, maintenance and other personnel who may be affected?	3	2
6	Is the methodology used in past PHAs and/or planned future PHAs appropriate for the complexity of the process?	10	10
7	Are the PHAs being led by an individual who has been trained in the methods being used?	12	10

8	Based on the most recent PHAs conducted, are the average rates of analysis appropriate for the complexity of the systems being analyzed? (Typically, 2–4 P&IDs of average complexity will be analyzed per day)	10	8
9	After the process hazards have been identified, are the likelihood and consequences of the failure scenarios assessed using either qualitative or quantitative techniques?	5	3
Total Points		100	84

Table 7.2.4 - Management of Change

Question		Possible Score	Actual Score
1	Does the facility have a written Management of Change procedure that must be followed whenever new facilities are added or changes are made to a process?	9	5
	Are authorization procedures clearly stated and at an appropriate level?	5	5
2	Do the following types of “changes” invoke the Management of Change procedure?		

	a. Physical changes to the facility, other than replacement in kind (expansions, equipment modifications, instrument or alarm system revisions, etc.)	4	3
	b. Changes in process chemicals (feedstocks, catalysts, solvents, etc.).	4	3
	c. Changes in process conditions (operating temperatures, pressures, production rates, etc.)	4	3
	d. Significant changes in operating procedures (startup or shutdown sequences, unit staffing level or assignments, etc.)	4	3
3	Is there a clear understanding at the facility of what constitutes a “temporary change?”	5	3
	a. Does Management of Change handle temporary changes as well as permanent changes?	4	3
	b. Are items that are installed as “temporary” tracked to ensure that they are either removed after a reasonable period of time or reclassified as permanent?	5	3
4	Do the Management of Change procedures specifically require the following actions whenever a change is made to a process?		
	a. Require an appropriate Process Hazard Analysis for the unit.	3	3
	b. Update all affected operating procedures.	3	3

	c. Update all affected maintenance programs and inspection schedules.	3	3
	d. Modify P&IDs, statement of operating limits, Material Safety Data Sheets, and any other process safety information affected.	3	3
	e. Notify all process and maintenance employees who work in the area of the change, and provide training as required.	3	3
	f. Notify all contractors affected by the change.	3	3
	g. Review the effect of the proposed change on all separate but interrelated upstream and downstream facilities.	3	3
5	When changes are made in the process or operating procedures, are there written procedures requiring that the impact of these changes on the equipment and materials of construction be reviewed to determine whether they will cause any increased rate of deterioration or failure, or will result in different failure mechanisms in the process equipment?	10	8
6	When the equipment or materials of construction are changed through replacement or maintenance items, is there a system in place to formally review any metallurgical change to ensure that the new material is suitable for the process?	5	3
Total Points		80	63

Tabel A.2.5 - Operating Procedures

Question		Possible Score	Actual Score
1	Are written operating procedures available to operations and maintenance personnel in all units?	10	10
	Do the operating procedures clearly define the position of the person or persons responsible for operation of each applicable area?	5	3
2	Are the following operating considerations covered in all Standard Operating Procedures (SOPs)?		
	a. Initial startup	2	2
	b. Normal (as well as emergency) operation	2	2
	c. Normal shutdown	2	2
	d. Emergency shutdown	2	2
	e. Is the position of the person or persons who may initiate these procedures defined?	2	2
	f. Steps required to correct or avoid deviation from operating limits and consequences of the deviation	2	2
	g. Startup following a turnaround	2	2
	h. Safety systems and their functions	2	2

3	Are the following safety and health considerations covered in all SOPs for the chemicals used in the process?		
	a. Properties of, and hazards presented by, the chemicals	3	3
	b. Precautions necessary to prevent exposure, including controls and personal protective equipment	4	3
	c. Control measures to be taken if physical contact occurs	3	3
4	Are the SOPs in the facility written in a clear and concise style to ensure effective comprehension and promote compliance of the users?	10	10
5	Are there adequate procedures for handover/transfer of information between shifts?	10	8
6	How frequently are operating procedures formally reviewed to ensure they reflect current operating practices and updated as required? (Choose one)		
	At least annually, or as changes occur	11	
	Each two years	6	6
	Only when major process changes occur	3	

	No schedule has been established	0	
7	How often is an unbiased evaluation made of the level of compliance with written operating procedures? (Choose one)		
	Every 6 months	8	
	Yearly	4	
	Each 3 years	2	2
	Not Done	0	
Total Points		95	64

Tabel A.2.6 Safe Work Practices

Question		Possible Score	Actual Score
1	Have safe work practices been developed and implemented for employees and contractors to provide for the control of hazards during operation or maintenance, including:		
	a. Hot work	2	2
	b. Line breaking procedures	2	2
	c. Lockout/tagout	2	2
	d. Confined space entry	2	2

	e. Opening process equipment or piping	2	2
	f. Entrance into a facility by maintenance, contract, laboratory, or other support personnel	2	2
	g. Vehicle entry	2	2
	h. Crane lifts	2	0
	i. Handling of particularly hazardous materials (toxic, radioactive, etc.)	2	2
	j. Inspection or maintenance of in-service equipment	2	2
2	Do all the safe work practices listed in Question 1 require a work authorization form or permit prior to initiating the activity?	10	10
3	If so, do the permit procedures include the following features?		
	a. Forms that adequately cover the subject area	1	1
	b. Clear instructions denoting the number of copies issued and who receives each copy	1	1
	c. Authority required for issuance	1	1
	d. Sign-off procedure at completion of work	1	1
	e. Procedure for extension or reissue after shift change	1	1
4	Is formal training provided to persons issuing each of the above permits?	10	10

5	Are the affected employees trained in the above permit and procedure requirements?	10	8
6	How often is an independent evaluation made (e.g., by Safety Department or similar group), with results communicated to appropriate management, to determine the extent of compliance with requirements for work permits and specialized procedures for major units within the organization? (Choose one)		
	Every 3 months	7	
	Every 6 months	4	
	Yearly	2	2
	Not done	0	
7	Is a procedure in place that requires that all work permit procedures and work rules be formally reviewed at least every three years and updated as required?	10	10
	Do records indicate that these reviews are being conducted on a timely basis?	5	5
8	Have surveys been conducted to determine whether working environments are consistent with ergonomic standards?	4	4

	Either no deficiencies were found in the above survey, or if they were, are they being corrected?	4	4
Total Points		91	76

Tabel A.2.7 - Training

Question		Possible Score	Actual Score
1	Is there a written procedure that defines the general training in site-wide safety procedures, work practices, etc., that a newly hired employee will receive?	10	10
2	Is there a written procedure that defines the amount and content of site specific training, in addition to the general training provided in Question 1, that an employee newly assigned to an operations position will receive prior to assuming his duties?	10	10
3	Does the procedure described in Question 2 require that the training include the following?		
	a. An overview of the process and its specific safety and health hazards	3	3
	b. Training in all operating procedures	3	3
	c. Training on site-emergency procedures	3	3

	d. Emphasis on safety-related issues such as work permits, importance of interlocks and other safety systems, etc.	3	2
	e. Safe work practices	3	3
	f. Appropriate basic skills	3	3
4	At the completion of formal training of operations personnel, what method is used to verify that the employee understands the information presented? (Choose one)		
	Performance test followed by documented observation	10	
	Performance test only	7	7
	Opinion of instructor	3	
	No verification	0	
5	How often are operations employees given formal refresher training? (Choose one)		
	At least once every three years	10	10
	Only when major process changes occur	5	
	Never	0	
6	What is the average amount of training given to each operations employee per year, averaged over all grades? (Choose one)		
	15 days/year or more	10	

	11 to 14 days/year	7	
	7 to 10 days/year	5	
	3 to 6 days/year	3	3
	Less than 3 days/year	0	
7	Has a systematic approach (e.g., employee surveys, task analysis, etc.) been used to identify the training needs of all employees at the facility, including the training programs referred to in Questions 1 and 2?	4	4
	a. Have training programs been established for the identified needs?	4	4
	b. Are training needs reviewed and updated periodically?	4	4
8	Are the following features incorporated in the plant's formal training programs?		
	a. Qualifications for trainers have been established and are documented for each trainer.	5	5
	b. Written lesson plans are used that have been reviewed and approved to ensure complete coverage of the topic.	5	5
	c. Training aids and simulators are used where appropriate to permit "hands-on" training.	5	5

	d. Records are maintained for each trainee showing the date of training and means used to verify that training was understood.	5	5
Total Points		130	89

Tabel A.2.8 - Mechanical Integrity

Question		Possible Score	Actual Score
1	Has a written inspection plan for the process unit been developed that includes the following elements:		
	a. All equipment needing inspection has been identified?	2	1
	b. The responsibilities to conduct the inspections have been assigned?	2	2
	c. Inspection frequencies have been established?	2	2
	d. The inspection methods and locations have been specified?	2	2
	e. Inspection reporting requirements have been defined?	2	2
2	Does the inspection plan referred to in Question 1 include a formal, external visual inspection program for all process units?	2	2

	a. Are all the following factors considered in the visual inspection program: the condition of the outside of equipment, insulation, painting/coatings, supports and attachments, and identifying mechanical damage, corrosion, vibration, leakage or improper components or repairs?	1	1
	b. Based on the inspection plan referred to in Question 1, do all pressure vessels in the unit receive such a visual external inspection at least every 5 years?	2	2
	c. Based on this inspection plan, do all on-site piping systems that handle volatile, flammable products, toxins, acids and caustics, and other similar materials receive a visual external inspection at least every 5 years?	2	2
3	Based on the inspection plan, do all pressure vessels in the unit receive an internal or detailed inspection using appropriate nondestructive examination procedures at least every 10 years?	5	5
4	Has each item of process equipment been reviewed by appropriate personnel to identify the probable causes of deterioration or failure?	5	5

	a. Has this information been used to establish the inspection methods, locations, and frequencies and the preventive maintenance programs?	1	1
	b. Have defect limits been established, based on fitness for service considerations?	1	1
	Is a formal program for thickness measurements of piping as well as vessels being used?	3	1
	a. When the locations for thickness measurements are chosen,		
	1. Is the likelihood and consequence of failure a major factor?	1	1
	2. Is localized corrosion and erosion a consideration?	1	1
5	b. Are thickness measurement locations clearly marked on inspection drawings and on the vessel or piping system to allow repetitive measurements at precisely the same locations?	2	0
	c. Are thickness surveys up to date?	2	2
	d. Are the results used to predict remaining life and adjust future inspection frequency?	2	2
6	Has the maximum allowable working pressure (MAWP) been established for all piping systems, using applicable codes and current operating conditions?	3	3

	Are the MAWP calculations updated after each thickness measurement, using the latest wall thickness and corrosion rate?	2	0
7	Is there a written procedure that requires an appropriate level of review and authorization prior to any changes in inspection frequencies or methods and testing procedures?	5	5
8	Have adequate inspection checklists been developed and are they being used?	3	3
	Are they periodically reviewed and updated as equipment or processes change?	2	2
9	Are all inspections, tests and repairs performed on the process equipment being promptly documented?	3	3
	Does the documentation include all of the following	3	2
	a. The date of the inspection		
	b. The name of the person who performed the inspection		
	c. Identification of the equipment inspected		
	d. A description of the inspection or testing		
	e. The results of the inspection		
	f. All recommendations resulting from the inspection		

	g. A date and description of all maintenance performed		
10	Is there a written procedure requiring that all process equipment deficiencies identified during an inspection be corrected in a safe and timely manner and are they tracked and followed up to assure completion?	5	4
	a. Is a system used to help determine priorities for action?	1	1
	b. If defects are noted, are decisions to continue to operate the equipment based on sound engineering assessments of fitness for service?	2	2
11	Is there a complete, up-to-date, central file for all inspection program information and reports?	3	2
	Is this file information available to everyone who works with the process?	2	2
12	Have all employees involved in maintaining and inspecting the process equipment been trained in an overview of the process and its hazards?	5	3
13	Have all employees involved in maintaining and inspecting the process equipment been trained in all procedures applicable to their job tasks to ensure that they can perform the job tasks in a safe and effective manner?	3	2

	At completion of the training described above, are formal methods used to verify that the employee understands what he was trained on?	2	1
14	Are inspectors certified for performance in accordance with applicable industry codes and standards (e.g., API 510, 570 and 653)?	5	5
15	Are training programs conducted for contractors' employees where special skills or techniques unique to the unit or plant are required for these employees to perform the job safely?	5	3
16	Has a schedule been established for the inspection or testing of all pressure relief valves in the unit?	3	3
	a. Is the schedule being met?	1	1
	b. Are all inspections and repairs fully documented?	1	0
	c. Are all repairs made by personnel fully trained and experienced in relief valve maintenance?	1	1
17	Does the preventive maintenance program used at the facility meet the following criteria?		
	a. All safety-critical items and other key equipment, such as electrical switchgear and rotating equipment, are specifically addressed.	1	1

	b. Check lists and inspection sheets are being used.	1	1
	c. Work is being completed on time.	1	0
	d. The program is continuously modified based on inspection feedback.	1	0
	e. Repairs are identified, tracked and completed as a result of the PM program	1	1
18	Does the facility have a quality assurance program for construction and maintenance to ensure that:		
	a. Proper materials of construction are used?	1	1
	b. Fabrication and inspection procedures are proper?	1	1
	c. Equipment is maintained in compliance with codes and standards?	1	1
	d. Flanges are properly assembled and tightened?	1	1
	e. Replacement and maintenance materials are properly specified, inspected and stored?	1	1
19	Is there a permanent and progressive record for all pressure vessels that includes all of the following?	5	4
	a. Manufacturers' data reports and other pertinent data records		
	b. Vessel identification numbers		

	c. Relief valve information		
	d. Results of all inspections, repairs, alterations, or re-ratings that have occurred to date		
20	Are systems in place, such as written requirements, with supervisor sign off, sufficient to ensure that all design repair and alteration done on any pressure vessel or piping system be done in accordance with the code to which the item was built, or in-service repair and inspection code?	5	3
Total Points		120	98

Tabel A.2.9 - Pre-startup Safety Review

Question		Possible Score	Actual Score
1	Does company policy require a formal Process Hazard Analysis at the conception and/or design stages of all new development, construction, and major modification projects?	10	8
2	Is there a written procedure requiring that all of the following items have been accomplished before the startup of new or significantly modified facilities?	10	7

	a. Written operating procedures have been issued.		
	b. Training has been completed for all personnel involved in the process.		
	c. Adequate maintenance, inspection, safety and emergency procedures are in place.		
	d. Any recommendations resulting from the formal PHA have been completed.		
3	Is there a written procedure requiring that all equipment be inspected prior to startup to confirm that it has been installed in accordance with the design specifications and manufacturer's recommendations?	10	8
	a. Does the procedure require formal inspection reports at each appropriate stage of fabrication and construction?	5	5
	b. Does the procedure define the corrective action and follow-up needed when deficiencies are found?	5	5
4	In the pre-startup safety review, is it required that physical checks be made to confirm:		
	a. Leak tightness of all mechanical equipment prior to the introduction of highly hazardous chemicals to the process?	5	5

	b. Proper operation of all control equipment prior to startup?	5	5
	c. Proper installation and operation of all safety equipment (relief valves, interlocks, leak detection equipment, etc.)?	5	5
5	Is there a requirement to formally document the completion of the items in Questions 1, 2, 3, and 4 prior to startup, with a copy of the certification going to facility management?	5	5
Total Points		60	53

Tabel A.2.10 - Emergency Response

Question		Possible Score	Actual Score
1	Does the facility have an emergency plan in writing to address all probable emergencies?	10	7
2	Is there a requirement to formally review and update the emergency plan on a specified schedule?	5	3
	a. Does the facility's Management of Change procedure include a requirement to consider possible impact on the facility emergency plan?	2	2
	b. Are the results of all new or updated PHA's reviewed to determine whether any newly identified hazards will necessitate a change in the facility emergency plan?	2	2

3	Does the emergency plan include at least the following?		
	a. Procedures to designate one individual as Coordinator in an emergency situation, with a clear statement of his or her responsibilities.	2	1
	b. Emergency escape procedures and emergency escape route assignments.	2	2
	c. Procedures to be followed by employees who remain to perform critical plant operations before they evacuate.	2	2
	d. Procedures to account for all employees after emergency evacuation has been completed.	2	1
	e. Rescue and medical duties for those employees who are to perform them.	2	1
	f. Preferred means of reporting fires and other emergencies.	2	2
	g. Procedures for control of hazardous materials.	2	2
	h. A search and rescue plan.	2	1
	i. An all-clear and re-entry procedure.	2	1

4	Has an emergency control center been designated for the facility?	5	3
	Does it have the following minimum resources?		
	a. Emergency power source	2	2
	b. Adequate communication facilities	2	1
	c. Copies of P&IDs, SOPs, MSDS, Plot Plans, and other critical safety information for all process units at the facility	2	2
5	Have persons been designated who can be contacted for further information or explanation of duties under the emergency plan?	5	5
	Is this list of names posted in all appropriate locations (control rooms, security office, emergency control center, etc.)?	2	2
6	Are regular drills conducted to evaluate and reinforce the emergency plan?	10	8
Total Points		65	50

Tabel A.2.11 - Incident Investigation

Question		Possible Score	Actual Score
1	Is there a written incident/accident investigation procedure that includes both accidents and near misses?	10	10
	Does the procedure require that findings and recommendations of investigations be addressed and resolved promptly?	5	3
2	Does the procedure require that the investigation team include:		
	a. A member trained in accident investigation techniques?	3	2
	b. The line supervisor or someone equally familiar with the process?	3	3
3	Indicate whether the investigation procedure requires an investigation of the following items by the immediate supervisor with the results recorded on a standard form:		
	a. Fire and explosions	2	2
	b. Property losses at or above an established cost base	2	2
	c. All non-disabling injuries and occupational illnesses	2	2
	d. Hazardous substance discharge	2	2
	e. Other accidents/incidents (near-misses)	2	1

4	Is there a standard form for accident/incident investigation that includes the following information?		
	a. Date of incident	2	2
	b. Date investigation began	2	2
	c. Description of the incident	2	2
	d. Underlying causes of the incident	2	2
	e. Evaluation of the potential severity and probable frequency of recurrence	2	2
	f. Recommendations to prevent recurrence	2	2
5	Based on a review of plant records, to what degree does it appear that the established incident investigation procedures are being followed?	5	4
6	If the incident/accident involved a failure of a component or piece of equipment, are appropriate inspection or engineering people required to be involved in a failure analysis to identify the conditions or practices that caused the failure?	10	8
7	Are incident investigation reports reviewed with all affected personnel whose job tasks are relevant to the incident findings, including contract employees, where applicable?	5	3

8	During the last 12-month period, have any incident or accident reports or report conclusions been transmitted to other sites that operate similar facilities within the company?	6	5
9	Do the procedures for incident reporting and/or process hazard analysis require that the findings from all applicable incident reports be reviewed and incorporated into future PHAs?	6	6
Total Points		75	65


Tabel A.2.12 - Contractors

Question		Possible Score	Actual Score
1	Do contractor selection procedures include the following prior to awarding the contract?		
	a. A review of the contractor's existing safety and health programs	3	3
	b. A review of the contractor's previous loss experience data	3	3
	c. A review of the documentation of the experience and skills necessary to reasonably expect the contractor to perform the work safely and efficiently	3	3

2	Before the start of work, is the contract employer advised in writing of:		
	a. All known potential hazards of the process and of the contractor's work?	2	2
	b. Plant safe-work practices?	2	2
	c. Entry/access controls?	2	2
	d. All applicable provisions of the emergency response plan?	2	1
3	Are pre-job meetings held with contractors to review the scope of contract work activity plus the company's requirements for safety, quality assurance, and performance?	9	7
4	Are periodic assessments performed to ensure that the contract employer is providing to his or her employees the training, instruction, monitoring, etc., required to ensure the contract employees abide by all facility safework practices?	9	8
5	Are all contractors who perform maintenance or repair, turnaround, major renovation or specialty work covered by all the procedures addressed in this section?	10	8
Total Points		45	39

Tabel A.2.13 - Management Systems Assessments

Question		Possible Score	Actual Score
1	How often is a formal written assessment conducted of the facility's Process Safety Management system? (Choose one)		
	Every year	10	10
	Every three years	7	
	Not done	0	
2	Has an action plan been developed to meet program needs as indicated by the last assessment?	10	8
3	Based on the most recent assessment, did the assessment team include people with the following skills:		
	a. Formal training in assessment techniques?	5	4
	b. In-depth knowledge of the process being assessed?	5	4
4	Based on a review of the most recent assessment, was the breadth and depth of the assessment appropriate for the facility?	10	9
Total Points		47	35

	<i>Probability of Failure</i>
	Tabel A.3 - Screening Damage Mechanisms

No.	Type Damage Mechanism	Criteria based on API 581
1	<i>Thinning Damage factor</i>	Semua komponen harus di cek pada kriteria <i>thinning damage factor</i>
2	<i>Component Lining Damage Factor</i>	Apabila peralatan memiliki pelindung internal baik berupa <i>inorganic</i> ataupun <i>organic</i>
3	<i>SCC Damage Factor - Caustic Cracking</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>
		Fluida yang diproses/disimpan mengandung NaOH pada suhu yang tinggi
		Lingkungan proses mengandung <i>caustic</i>
4	<i>SCC Damage Factor - Amine Cracking</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>
		Lingkungan proses mengandung <i>acid gas treating amine</i> (MEA, DEA, DIPA, MDA, dll)
5	<i>SCC Damag Factor - Sulfide Stress Cracking</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>

		Lingkungan proses mengandung H ₂ S (asam sulfida)
6	<i>SCC Damage Factor - HIC/SOHIC-H₂S</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>
		Lingkungan proses mengandung air dan H ₂ S
7	<i>SCC Damage Factor - Carbonate Cracking</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>
		Lingkungan proses mengandung karbon (CO ₃)
		Lingkungan proses mengandung <i>sour water</i> dengan PH > 7.5
8	<i>SCC Damage Factor - PTA Cracking</i>	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i> atau <i>nikel based alloys</i>
		Peralatan tidak terlindung dari bantalan yang mengandung sulfur
9	<i>SCC Damage Factor - CLSCC</i>	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>
		Peralatan terkena atau berpotensi terkena klorida dan air
		Suhu operasi di atas 38°C (100°F)
10	<i>SCC Damage Factor - HSC-HF</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>
		Peralatan terkena <i>hydroflouro acid</i>


11	<i>SCC Damage Factor - HIC/SOHIC-HF</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>
		Peralatan terkena <i>hydrofluoro acid</i>
12	<i>External Corrosion Damage Factor - Ferritic Component</i>	Berada dekat dengan percikan kabut berlebihan dari pendingin
		Berada dekat dengan ventilasi uap
		Berada pada curah hujan yang tinggi
		Area dekat dengan proses kebocoran, baik dari uap lembab, atau uap asam
		Sistem baja karbon yang beroperasi antara -23°C dan 121°C (-10°F dan 250°F)
		Sistem baja karbon yang tidak beroperasi normal antara -23°C dan 121°C (-10°F dan 250°F) namun mendingin atau memanaskan pada suhu rata-rata yang tidak terus-menerus
		Sistem dengan pelindung atau wrapping yang buruk
		Sistem pendingin beroperasi dibawah titik pengembunan secara terus-menerus
		Memiliki <i>nozzle</i> yang tidak terisolasi atau peralatan menonjol yang terisolasi pada kondisi dingin

13	<i>CUI Damage Factor - Ferritic Component</i>	Lokasi dan/ sistem spesifik, seperti penembusan dan daerah kerusakan isolasi <i>visual</i>
		Berada dekat dengan percikan kabut berlebih dari pendingin
		Berada dekat dengan ventilasi uap
		Berada pada curah hujan yang tinggi
		Area dekat dengan proses kebocoran, baik dari uap lembab, atau uap asam
		Isolasi lapisan penyelubung berada di atas <i>vessel</i> horisontal atau bagian atau tanda isolasi tidak sesuai
		Sistem baja karbon, termasuk isolasi untuk perlindungan orang, yang beroperasi di antara - 12°C dan 177°C (10°F dan 350°F)
		Sistem baja karbon yang normalnya beroperasi pada suhu 177°C (350°F)
		<i>Dead legs</i> dan peralatan tambahan yang menonjol dari insulasi dan pengoperasian pada suhu yang berbeda dari suhu operasi
		Sistem getaran yang memiliki kecenderungan untuk menimbulkan kerusakan terhadap selubung insulasi

		Sistem uap sisa mengalami kerusakan, khususnya pada selubung dibawah insulasi
		Sistem dengan pelindung atau <i>wrapping</i> yang buruk
		Sistem pendingin beroperasi dibawah titik pengembunan secara terus-menerus
14	<i>External CLSCC Damage Factor - Austenitic Component</i>	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>
		Permukaan luar peralatan terkena klorida yang mengandung fluida, kabut, atau padatan
		Suhu operasi antara 49°C dan 149° (120°F dan 300°F), atau sistem memanaskan atau mendinginkan pada rentang tersebut secara tidak terus-menerus
15	<i>External CUI CLSCC Damage Factor - Austenitic Component</i>	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>
		Peralatan terisolasi
		Permukaan luar peralatan terkena klorida yang mengandung fluida, kabut, atau padatan
		Suhu operasi antara 49°C dan 149° (120°F dan 300°F), atau sistem memanaskan atau mendinginkan pada rentang tersebut secara tidak terus-menerus

16	<i>HTHA Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari baja karbon C - 0.5 Mo, atau Cr-Mo <i>low alloy steel</i>
		Suhu operasi lebih dari 204°C (400°F) dan pengoperasian tekanan hidrogen sebagian lebih besar dari 0.552 MPa (80 psia)
17	<i>Brittle Fracture Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>
		<i>Minimum Design Metal Temperature</i> (MDMT) tidak diketahui, atau MDMT diketahui namun peralatan beroperasi di bawah MDMT normal (<i>upset condition</i>)
18	<i>Temper Embrittlement Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari 1.25 Cr - 0.5 Mo , 2.25 Cr - 0.5 M , atau 3 Cr-1 Mo <i>low alloy steel</i>
		Suhu operasi antara 343°C dan 577°C (650°F dan 1070°F)
19	<i>885 Embrittlement Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari <i>high chromium</i> (>12%Cr) <i>ferritic steel</i>
		Suhu operasi antara 371°C dan 566°C (700°F dan 1050°F)
20	<i>Sigma Phase Embrittlement Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>

		Suhu operasi antara 593°C dan 927°C (1100°F dan 1700°)
21	<i>Piping Mechanical Fatigue Damage Factor</i>	Peralatan berupa pipa
		Pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan
		Terdapat sumber getaran yang terhubung langsung atau tidak langsung dengan jarak kurang dari 15.42 m (50 ft)

	<i>Probability of Failure</i>
	Tabel A.4 – <i>Type of Damage Mechanisms for Pressure Vessel</i>

No.	Type Damage Mechanism	Criteria based on API 581	Yes/No	Result
1	<i>Thinning Damage factor</i>	Semua komponen harus di cek pada kriteria <i>thinning damage factor</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>
2	<i>Component Lining Damage Factor</i>	Apabila peralatan memiliki pelindung internal baik berupa <i>inorganic</i> ataupun <i>organic</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
3	<i>SCC Damage Factor - Caustic Cracking</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>
		Fluida yang diproses/disimpan mengandung NaOH pada suhu yang tinggi	<i>No</i>	
		Lingkungan proses mengandung <i>caustic</i>	<i>No</i>	
4	<i>SCC Damage Factor - Amine Cracking</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>
		Lingkungan proses mengandung <i>acid gas treating amine</i> (MEA, DEA, DIPA, MDA, dll)	<i>No</i>	

5	SCC Damag Factor - Sulfide Stress Cracking	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Lingkungan proses mengandung H ₂ S (asam sulfida)	No	
6	SCC Damage Factor - HIC/SOHIC-H ₂ S	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Lingkungan proses mengandung air dan H ₂ S	No	
7	SCC Damage Factor - Carbonate Cracking	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Lingkungan proses mengandung karbon (CO ₃)	No	
		Lingkungan proses mengandung <i>sour water</i> dengan PH > 7.5	No	
8	SCC Damage Factor - PTA Cracking	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i> atau <i>nikel based alloys</i>	No	No
		Peralatan tidak terlindung dari bantalan yang mengandung sulfur	Yes	
9	SCC Damage Factor - CLSCC	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>	No	No
		Peralatan terkena atau berpotensi terkena klorida dan air	No	
		Suhu operasi di atas 38°C (100°F)	No	


10	SCC Damage Factor - HSC-HF	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Peralatan terkena <i>hydroflouro acid</i>	No	
11	SCC Damage Factor - HIC/SOHIC-HF	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Peralatan terkena <i>hydroflouro acid</i>	No	
12	External Corrosion Damage Factor - Ferritic Component	Berada dekat dengan percikan kabut berlebih dari pendingin	No	No
		Berada dekat dengan ventilasi uap	No	
		Berada pada curah hujan yang tinggi	Yes	
		Area dekat dengan proses kebocoran, baik dari uap lembab, atau uap asam	No	
		Sistem baja karbon yang beroperasi antara -23°C dan 121°C (-10°F dan 250°F)	No	
		Sistem baja karbon yang tidak beroperasi normal antara -23°C dan 121°C (-10°F dan 250°F) namun mendingin atau memanaskan pada suhu rata-rata yang tidak terus-menerus	No	
		Sistem dengan pelindung atau <i>wrapping</i> yang buruk	No	
		Sistem pendingin beroperasi dibawah titik pengembunan secara terus-menerus	No	

		Memiliki <i>nozzle</i> yang tidak terisolasi atau peralatan menonjol yang terisolasi pada kondisi dingin	<i>No</i>	
13	<i>CUI Damage Factor - Ferritic Component</i>	Lokasi dan / sistem spesifik, seperti penembusan dan daerah kerusakan isolasi visual	<i>No</i>	<i>No</i>
		Berada dekat dengan percikan kabut berlebih dari pendingin	<i>No</i>	
		Berada dekat dengan ventilasi uap	<i>No</i>	
		Berada pada curah hujan yang tinggi	<i>Yes</i>	
		Area dekat dengan proses kebocoran, baik dari uap lembab, atau uap asam	<i>No</i>	
		Isolasi lapisan penyelubung berada di atas <i>vessel</i> horisontal atau bagian atau tanda isolasi tidak sesuai	<i>No</i>	
		Sistem baja karbon, termasuk isolasi untuk perlindungan orang, yang beroperasi di antara -12°C dan 177°C (10°F dan 350°F)	<i>No</i>	
		Sistem baja karbon yang normalnya beroperasi pada suhu 177°C (350°F)	<i>No</i>	
		<i>Dead legs</i> dan peralatan tambahan yang menonjol dari insulasi dan pengoperasian	<i>No</i>	

		pada suhu yang berbeda dari suhu operasi		
		Sistem getaran yang memiliki kecenderungan untuk menimbulkan kerusakan terhadap selubung insulasi	No	No
		Sistem uap sisa mengalami kerusakan, khususnya pada selubung dibawah insulasi	No	
		Sistem dengan pelindung atau <i>wrapping</i> yang buruk	No	
		Sistem pendingin beroperasi dibawah titik pengembunan secara terus-menerus	No	
14	External CLSCC Damage Factor - Austenitic Component	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>	No	No
		Permukaan luar peralatan terkena klorida yang mengandung fluida, kabut, atau padatan	No	
		Suhu operasi antara 49°C dan 149° (120°F dan 300°F), atau sistem memanaskan atau mendinginkan pada rentang tersebut secara tidak terus-menerus	No	
15	External CUI CLSCC Damage Factor - Austenitic Component	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>	No	No
		Peralatan terisolasi	No	

		Permukaan luar peralatan terkena klorida yang mengandung fluida, kabut, atau padatan	No	No
		Suhu operasi antara 49°C dan 149° (120°F dan 300°F), atau sistem memanaskan atau mendingin pada rentang tersebut secara tidak terus-menerus	No	
16	<i>HTHA Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari baja karbon C - 0.5 Mo, atau Cr-Mo <i>low alloy steel</i>	No	No
		Suhu operasi lebih dari 204°C (400°F) dan pengoperasian tekanan hidrogen sebagian lebih besar dari 0.552 MPa (80 psia)	No	
17	<i>Brittle Fracture Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		<i>Minimum Design Metal Temperature</i> (MDMT) tidak diketahui, atau MDMT diketahui namun peralatan beroperasi di bawah MDMT normal (<i>upset condition</i>)	No	
18	<i>Temper Embrittlement Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari 1.25 Cr - 0.5 Mo , 2.25 Cr - 0.5 M , atau 3 Cr-1 Mo <i>low alloy steel</i>	No	No
		Suhu operasi antara 343°C dan 577°C (650°F dan 1070°F)	No	

19	<i>885 Embrittlement Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari <i>high chromium</i> (>12%Cr) <i>ferritic steel</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
		Suhu operasi antara 371°C dan 566°C (700°F dan 1050°F)	<i>No</i>	
20	<i>Sigma Phase Embrittlement Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
		Suhu operasi antara 593°C dan 927°C (1100°F dan 1700°)	<i>No</i>	
21	<i>Piping Mechanical Fatigue Damage Factor</i>	Peralatan berupa pipa	<i>No</i>	<i>No</i>
		Pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan	<i>No</i>	
		Terdapat sumber getaran yang terhubung langsung atau tidak langsung dengan jarak kurang dari 15.42 m (50 ft)	<i>No</i>	

	<i>Probability of Failure</i>
	Tabel A.5 – <i>Type of Damage Mechanisms for Piping System</i>

No.	Type Damage Mechanism	Criteria based on API 581	Yes/No	Result
1	<i>Thinning Damage factor</i>	Semua komponen harus di cek pada kriteria <i>thinning damage factor</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>
2	<i>Component Lining Damage Factor</i>	Apabila peralatan memiliki pelindung internal baik berupa <i>inorganic</i> ataupun <i>organic</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
3	<i>SCC Damage Factor - Caustic Cracking</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>
		Fluida yang diproses/disimpan mengandung NaOH pada suhu yang tinggi	<i>No</i>	
		Lingkungan proses mengandung <i>caustic</i>	<i>No</i>	
4	<i>SCC Damage Factor - Amine Cracking</i>	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>
		Lingkungan proses mengandung <i>acid gas treating amine</i> (MEA, DEA, DIPA, MDA, dll)	<i>No</i>	

5	SCC Damag Factor - Sulfide Stress Cracking	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Lingkungan proses mengandung H ₂ S (asam sulfida)	No	
6	SCC Damage Factor - HIC/SOHIC-H ₂ S	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Lingkungan proses mengandung air dan H ₂ S	No	
7	SCC Damage Factor - Carbonate Cracking	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Lingkungan proses mengandung karbon (CO ₃)	No	
		Lingkungan proses mengandung <i>sour water</i> dengan PH > 7.5	No	
8	SCC Damage Factor - PTA Cracking	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i> atau <i>nikel based alloys</i>	No	No
		Peralatan tidak terlindung dari bantalan yang mengandung sulfur	Yes	
9	SCC Damage Factor - CLSCC	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>	No	No
		Peralatan terkena atau berpotensi terkena klorida dan air	No	
		Suhu operasi di atas 38°C (100°F)	No	

10	SCC Damage Factor - HSC-HF	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Peralatan terkena <i>hydroflouro acid</i>	No	
11	SCC Damage Factor - HIC/SOHIC-HF	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Peralatan terkena <i>hydroflouro acid</i>	No	
12	External Corrosion Damage Factor - Ferritic Component	Berada dekat dengan percikan kabut berlebih dari pendingin	No	No
		Berada dekat dengan ventilasi uap	No	
		Berada pada curah hujan yang tinggi	Yes	
		Area dekat dengan proses kebocoran, baik dari uap lembab, atau uap asam	No	
		Sistem baja karbon yang beroperasi antara -23°C dan 121°C (-10°F dan 250°F)	No	
		Sistem baja karbon yang tidak beroperasi normal antara -23°C dan 121°C (-10°F dan 250°F) namun mendingin atau memanaskan pada suhu rata-rata yang tidak terus-menerus	No	
		Sistem dengan pelindung atau <i>wrapping</i> yang buruk	No	
		Sistem pendingin beroperasi dibawah titik pengembunan secara terus-menerus	No	

		Memiliki <i>nozzle</i> yang tidak terisolasi atau peralatan menonjol yang terisolasi pada kondisi dingin	<i>No</i>	
13	<i>CUI Damage Factor - Ferritic Component</i>	Lokasi dan / sistem spesifik, seperti penembusan dan daerah kerusakan isolasi visual	<i>No</i>	<i>No</i>
		Berada dekat dengan percikan kabut berlebih dari pendingin	<i>No</i>	
		Berada dekat dengan ventilasi uap	<i>No</i>	
		Berada pada curah hujan yang tinggi	<i>Yes</i>	
		Area dekat dengan proses kebocoran, baik dari uap lembab, atau uap asam	<i>No</i>	
		Isolasi lapisan penyelubung berada di atas <i>vessel</i> horisontal atau bagian atau tanda isolasi tidak sesuai	<i>No</i>	
		Sistem baja karbon, termasuk isolasi untuk perlindungan orang, yang beroperasi di antara -12°C dan 177°C (10°F dan 350°F)	<i>No</i>	
		Sistem baja karbon yang normalnya beroperasi pada suhu 177°C (350°F)	<i>No</i>	
		<i>Dead legs</i> dan peralatan tambahan yang menonjol dari insulasi dan pengoperasian	<i>No</i>	

		pada suhu yang berbeda dari suhu operasi		
		Sistem getaran yang memiliki kecenderungan untuk menimbulkan kerusakan terhadap selubung insulasi	No	No
		Sistem uap sisa mengalami kerusakan, khususnya pada selubung dibawah insulasi	No	
		Sistem dengan pelindung atau <i>wrapping</i> yang buruk	No	
		Sistem pendingin beroperasi dibawah titik pengembunan secara terus-menerus	No	
14	External CLSCC Damage Factor - Austenitic Component	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>	No	No
		Permukaan luar peralatan terkena klorida yang mengandung fluida, kabut, atau padatan	No	
		Suhu operasi antara 49°C dan 149° (120°F dan 300°F), atau sistem memanaskan atau mendinginkan pada rentang tersebut secara tidak terus-menerus	No	
15	External CUI CLSCC Damage Factor - Austenitic Component	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>	No	No
		Peralatan terisolasi	No	

		Permukaan luar peralatan terkena klorida yang mengandung fluida, kabut, atau padatan	No	No
		Suhu operasi antara 49°C dan 149° (120°F dan 300°F), atau sistem memanaskan atau mendingin pada rentang tersebut secara tidak terus-menerus	No	
16	HTHA Damage Factor	Material peralatan terbuat dari baja karbon C - 0.5 Mo, atau Cr-Mo <i>low alloy steel</i>	No	No
		Suhu operasi lebih dari 204°C (400°F) dan pengoperasian tekanan hidrogen sebagian lebih besar dari 0.552 MPa (80 psia)	No	
17	Brittle Fracture Damage Factor	Material peralatan terbuat dari karbon atau <i>low alloy steel</i>	Yes	No
		Minimum Design Metal Temperature (MDMT) tidak diketahui, atau MDMT diketahui namun peralatan beroperasi di bawah MDMT normal (<i>upset condition</i>)	No	
18	Temper Embrittlement Damage Factor	Material peralatan terbuat dari 1.25 Cr - 0.5 Mo , 2.25 Cr - 0.5 M , atau 3 Cr-1 Mo <i>low alloy steel</i>	No	No
		Suhu operasi antara 343°C dan 577°C (650°F dan 1070°F)	No	

19	<i>885 Embrittlement Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari <i>high chromium</i> (>12%Cr) <i>ferritic steel</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
		Suhu operasi antara 371°C dan 566°C (700°F dan 1050°F)	<i>No</i>	
20	<i>Sigma Phase Embrittlement Damage Factor</i>	Material peralatan terbuat dari <i>austenitic stainless steel</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
		Suhu operasi antara 593°C dan 927°C (1100°F dan 1700°)	<i>No</i>	
21	<i>Piping Mechanical Fatigue Damage Factor</i>	Peralatan berupa pipa	<i>No</i>	<i>Yes</i>
		Pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan	<i>No</i>	
		Terdapat sumber getaran yang terhubung langsung atau tidak langsung dengan jarak kurang dari 15.42 m (50 ft)	<i>No</i>	

Tabel A.6 – Data yang dibutuhkan untuk menghitung *Thinning Damage Factor*

<i>Basic Data</i>	<i>Comments</i>
<i>Thinning Type (General or Localized)</i>	<i>Determine whether the thinning is general or localized based on inspection results of effective inspections. General corrosion is defined as affecting more than 10% of the surface area and the wall thickness variation is less than 1.27 mm (50 mils). Localized corrosion is defined as affecting less than 10% of the surface area or a wall thickness variation greater than 1.27 mm (50 mils).</i>
<i>Corrosion Rate (mm/yr:mpy)</i>	<i>The current rate of thinning calculated from thickness data, if available. Corrosion rates calculated from thickness data typically vary from one inspection to another. These variations may be due to variations in the wall thickness, or they may indicate a change in the actual corrosion rate. If the short-term rate (calculated from the difference between the current thickness and the previous thickness) is significantly different from the long-term rate (calculated from the difference between the current thickness and the original thickness), then the component may be evaluated using the short term rate, but the appropriate time and thickness must be used.</i>

<i>Inspection Effectiveness Category</i>	<i>The effectiveness category of each inspection that has been performed on the component during the time period (specified above).</i>
<i>Number of Inspections</i>	<i>The number of inspections in each effectiveness category that have been performed during the time period (specified above).</i>
<i>On-Line Monitoring</i>	<i>The types of proactive on-line monitoring methods or tools employed, such as corrosion probes, coupons, process variables (Coupons, Probes, Process Variables, or Combinations, etc.)</i>
<i>Thinning Mechanism</i>	<i>If credit is to be taken for on-line monitoring, the potential thinning mechanisms must be known. A knowledgeable materials/corrosion engineer should be consulted for this information, also see API 571 [13].</i>
<i>Presence of Injection/Mix Point (Yes or No).</i>	<i>For piping, determine if there is an injection or mix point in the circuit.</i>
<i>Type of Injection/Mix Point Inspection</i>	<i>For piping circuits which contain an injection or mix point, determine whether not the inspection program is highly effective or not highly effective to detect local corrosion at these points.</i>
<i>Presence of a Deadleg (Yes or No).</i>	<i>For piping, determine if there is a deadleg in the circuit.</i>

<i>Type of Inspection for Deadleg Corrosion</i>	<i>For piping circuits which contain a deadleg, determine if the inspection program currently being used is highly effective or not highly effective to detect local corrosion in dead legs has been performed.</i>
<i>Welded Construction</i>	<i>Applicable to Atmospheric Storage tanks only, tanks may be welded or riveted construction. Is the tank of welded construction? (Yes or No)</i>
<i>Maintained to API 653</i>	<i>Applicable to Atmospheric Storage tanks only. Is the tank maintained in accordance with API 653 [11]? (Yes or No)</i>
<i>Settlement</i>	<i>Applicable to Atmospheric Storage tanks only, tanks may be welded or riveted construction. What is the settlement history of the tank</i> <ul style="list-style-type: none"> <i>• Recorded settlement exceeds API 653 criteria</i> <i>• Recorded settlement meets API 653 criteria</i> <i>• Settlement never evaluated</i> <i>• Concrete foundation, no settlement</i>

Tabel A.7 – Kategori Efektivitas Inspeksi untuk *General Thinning*

<i>Inspection Category</i>	<i>Inspection Effectiveness Category</i>	<i>Intrusive Inspection Example</i>	<i>Non-intrusive Inspection Example</i>
<i>A</i>	<i>Highly Effective</i>	<i>50 to 100% examination of the surface (partial internals removed), and accompanied by thickness measurements</i>	<i>50 to 100% ultrasonic scanning coverage (automated or manual) or profile radiography</i>
<i>B</i>	<i>Usually Effective</i>	<i>Nominally 20% examination (no internals removed), and spot external ultrasonic thickness measurements</i>	<i>Nominally 20% ultrasonic scanning coverage (automated or manual), or profile radiography, or external spot thickness (statistically validated)</i>
<i>C</i>	<i>Fairly Effective</i>	<i>Visual examination with thickness measurements</i>	<i>2 to 3% examination, spot external ultrasonic thickness measurements, and little or no internal visual examination</i>
<i>D</i>	<i>Poorly Effective</i>	<i>Visual examination</i>	<i>Several thickness measurements, and a documented inspection planning system</i>
<i>E</i>	<i>Ineffective</i>	<i>No inspection</i>	<i>Several thickness measurements taken only externally, and a poorly documented inspection planning system</i>

Tabel A.8 – *Thinning Damage Factors*

Art	Inspection Effectiveness												
	E	1 Inspection				2 Inspections				3 Inspections			
		D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B	A
0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.06	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.08	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.10	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.12	6	5	3	2	1	4	2	1	1	3	1	1	1
0.14	20	17	10	6	1	13	6	1	1	10	3	1	1
0.16	90	70	50	20	3	50	20	4	1	40	10	1	1
0.18	250	200	130	70	7	170	70	10	1	130	35	3	1
0.20	400	300	210	110	15	290	120	20	1	260	60	5	1
0.25	520	450	290	150	20	350	170	30	2	240	80	6	1
0.30	650	550	400	200	30	400	200	40	4	320	110	9	2
0.35	750	650	550	300	80	600	300	80	10	540	150	20	5
0.40	900	800	700	400	130	700	400	120	30	600	200	50	10
0.45	1050	900	810	500	200	800	500	160	40	700	270	60	20
0.50	1200	1100	970	600	270	1000	600	200	60	900	360	80	40
0.55	1350	1200	1130	700	350	1100	750	300	100	1000	500	130	90
0.60	1500	1400	1250	850	500	1300	900	400	230	1200	620	250	210
0.65	1900	1700	1400	1000	700	1800	1100	670	530	1300	880	550	500

Art	Inspection Effectiveness												
	E	4 Inspection				5 Inspections				6 Inspections			
		D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B	A
0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.06	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.08	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.10	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.12	6	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
0.14	20	7	2	1	1	5	1	1	1	4	1	1	1
0.16	90	30	5	1	1	20	2	1	1	14	1	1	1
0.18	250	100	15	1	1	70	7	1	1	50	3	1	1
0.20	400	180	20	2	1	120	10	1	1	100	6	1	1
0.25	520	200	30	2	1	150	15	2	1	120	7	1	1
0.30	650	240	50	4	2	180	25	3	2	150	10	2	2
0.35	750	440	90	10	4	350	70	6	4	280	40	5	4
0.40	900	500	140	20	8	400	110	10	8	350	90	9	8
0.45	1050	600	200	30	15	500	160	20	15	400	130	20	15
0.50	1200	800	270	50	40	700	210	40	40	600	180	40	40
0.55	1350	900	350	100	90	800	260	90	90	700	240	90	90
0.60	1500	1000	450	220	210	900	360	210	210	800	300	210	210
0.65	1900	1200	700	530	500	1100	640	500	500	1000	600	500	500

Tabel A.9 – Data Required for Determination of the Damage Factor – External Corrosion

<i>Required Data</i>	<i>Comments</i>
<i>Driver</i>	<i>The drivers for external corrosion. This can be the weather at a location (e.g. Marine), the potential for cooling tower drift, the use of sprinkler systems, or other contributors.</i>
<i>Corrosion Rate (mm/yr:mpy)</i>	<i>Corrosion rate for external corrosion. Based on Temperature, and Driver (see below), or user input.</i>
<i>Coating Installation Date</i>	<i>The date the coating was installed.</i>
<i>Coating Quality</i>	<i>Relates to the type of coating applied, for example:</i> <ul style="list-style-type: none"> - <i>None – No coating or primer only</i> - <i>Medium – Single coat epoxy</i> - <i>High – Multi coat epoxy or filled epoxy</i>
<i>Pipe Support Penalty (Yes/No)</i>	<i>If piping is supported directly on beams or other such configuration that does not allow for proper coating maintenance, external corrosion can be more severe.</i>
<i>Interface Penalty (Yes/No)</i>	<i>If the piping has an interface where it enters either soil or water, this area is subject to increased corrosion.</i>

<i>Inspection Effectiveness Category</i>	<i>The effectiveness category that has been performed on the component.</i>
<i>Number of Inspections</i>	<i>The number of inspections in each effectiveness category that have been performed.</i>

Tabel A.10 – *Inspection Effectiveness Category – External Corrosion*

<i>Inspection Category</i>	<i>Inspection Effectiveness Category</i>	<i>Inspection</i>
<i>A</i>	<i>Highly Effective</i>	<i>Visual inspection of >95% of the exposed surface area with follow-up by UT, RT or pit gauge as required.</i>
<i>B</i>	<i>Usually Effective</i>	<i>Visual inspection of >60% of the exposed surface area with follow-up by UT, RT or pit gauge as required.</i>
<i>C</i>	<i>Fairly Effective</i>	<i>Visual inspection of >30% of the exposed surface area with follow-up by UT, RT or pit gauge as required.</i>
<i>D</i>	<i>Poorly Effective</i>	<i>Visual inspection of >5% of the exposed surface area with follow-up by UT, RT or pit gauge as required.</i>
<i>E</i>	<i>Ineffective</i>	<i>Visual inspection of <5% of the exposed surface area with follow-up by UT, RT or pit gauge as required.</i>

Tabel A.11 – *Corrosion Rates for Calculation of the Damage Factor – External Corrosion*

<i>Operating Temperature (°C)</i>	<i>Corrosion Rate as a Function of Driver (1) (mpy)</i>			
	<i>Marine / Cooling Tower Drift Area</i>	<i>Temperate</i>	<i>Arid / Dry</i>	<i>Severe</i>
-12	0	0	0	0
-8	0.025	0	0	0
6	0.127	0.076	0.025	0.254
32	0.127	0.076	0.025	0.254
71	0.127	0.051	0.025	0.254
107	0.025	0	0	0.051
121	0	0	0	0
<p><i>Note :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. Driver is defined as the atmospheric condition causing the corrosion rate.</i> <i>2. Interpolation may be used for intermediate values of temperature.</i> 				

Tabel A.12 – Data Required for Determination of the Damage Factor – Mechanical Fatigue

<i>Required Data</i>	<i>Comments</i>
<i>Number of Previous Fatigue Failures: None, One or >1</i>	<i>If there has been no history of fatigue failures and there have been no significant changes, then the likelihood of a fatigue failure is believed to be low.</i>
<i>Severity of Vibration (audible or visible shaking): Minor, Moderate or Severe.</i>	<p><i>The severity of shaking can be measured in these subjective terms or can be measured as indicated at the bottom of this table in optional basic data. Examples of shaking are:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>• Minor – no visible shaking, barely perceptible feeling of vibration when the pipe is touched.</i> <i>• Moderate – Little or no visible shaking, definite feeling of vibration when the pipe is touched.</i> <i>• Severe – Visible signs of shaking in pipe, branches, attachments, or supports. Severe feeling of vibration when the pipe is touched.</i>
<i>Number of weeks pipe has been shaking: 0 to 2 weeks, 2 to 13 weeks, 13 to 52 weeks.</i>	<i>If there have been no significant recent changes in the piping system and the amount of shaking has not changed for years, or the amount of accumulative cycles is greater than the endurance limit, then it can be assumed that the cyclic stresses</i>

	<i>are below the endurance limit. (Most piping shaking will be at a frequency greater than 1 hertz. One hertz for one year is approximately 3×10^7 cycles, well beyond the endurance limit for most construction materials.)</i>
<i>Sources of cyclic stress in the vicinity of the item (e.g. within 50'): reciprocating machinery, PRV chatter, high pressure drop valves (e.g., let-down and mixing valves), none.</i>	<i>Determine to what cyclic source the piping is connected. The connections could be direct or indirect, e.g., through structural supports.</i>

Tabel A.13 – Data Tambahan untuk Menghitung *Damage Factor – Mechanical Fatigue*

<i>Required Data</i>	<i>Comments</i>
<i>Corrective Actions taken : Modifications based on complete engineering analysis, Modifications based on experience, No Modifications</i>	<i>Credit is given for analysis work which shows that the shaking piping is not a fatigue concern</i>
<i>Piping Complexity: Based on 15.24 meters (50 feet) of pipe, choose:</i> <ul style="list-style-type: none"> - <i>0 to 5 branches, fittings, etc.</i> - <i>5 to 10 branches, fittings, etc.</i> - <i>10 branches, fittings, etc.</i> 	<i>Determine the piping complexity in terms of the number of branched connections, number of fittings, etc.</i>
<i>Type of joint or branch design used in this piping: Threaded, Socket Welded, Saddle on, Saddle in, Piping tee, Weldolet, Sweepolet.</i>	<i>Determine the type of joint or branch connection that is predominant throughout this section of piping that is being evaluated.</i>
<i>Condition of the pipe: Missing/Damaged Supports, Unsupported weights on branches, Broken gussets, Gussets/supports welded directly to pipe, Good Condition</i>	<i>What is the condition of the piping section being evaluated in terms of support?</i>

LAMPIRAN B

Nilai-nilai yang Dibutuhkan
dalam Perhitungan Konsekuensi (CoF)

Tabel B.1 – Daftar Fluida Representatif untuk Analisis Level 1

<i>Representative Fluid</i>	<i>Fluid Type</i>	<i>Examples of Applicable Materials</i>
<i>C1 – C2</i>	<i>Type 0</i>	<i>Methane, ethane, ethylene, LNG, fuel gas</i>
<i>C3 – C4</i>	<i>Type 0</i>	<i>Propane, butane, isobutane, LPG</i>
<i>C5</i>	<i>Type 0</i>	<i>Pentane</i>
<i>C6 - C8</i>	<i>Type 0</i>	<i>Gasoline, naptha, light straight run, heptane</i>
<i>C9 – C12</i>	<i>Type 0</i>	<i>Diesel, kerosene</i>
<i>C13 – C16</i>	<i>Type 0</i>	<i>Jet fuel, kerosene, atmospheric gas oil</i>
<i>C17 –C25</i>	<i>Type 0</i>	<i>Gas oil, typical crude</i>
<i>C25+</i>	<i>Type 0</i>	<i>Residuum, heavy crude, lube oil, seal oil</i>
<i>H2</i>	<i>Type 0</i>	<i>Hydrogen only</i>
<i>H2S</i>	<i>Type 0</i>	<i>Hydrogen sulfide only</i>
<i>HF</i>	<i>Type 0</i>	<i>Hydrogen fluoride</i>
<i>Water</i>	<i>Type 0</i>	<i>Water</i>
<i>Steam</i>	<i>Type 0</i>	<i>Steam</i>
<i>Acid (low)</i>	<i>Type 0</i>	<i>Acid, caustic</i>
<i>Aromatics</i>	<i>Type 1</i>	<i>Benzene, Toluene, Xylene, Cumene</i>
<i>AlCl3</i>	<i>Type 0</i>	<i>Aluminum Chloride</i>
<i>Pyrophoric</i>	<i>Type 0</i>	<i>Pyrophoric Materials</i>
<i>Amonia</i>	<i>Type 0</i>	<i>Ammonia</i>
<i>Chlorine</i>	<i>Type 0</i>	<i>Chlorine</i>

<i>CO</i>	<i>Type 1</i>	<i>Carbon Monoxide</i>
<i>DEE</i>	<i>Type 1 (see Note 2)</i>	<i>Diethyl Ether</i>
<i>HCL</i>	<i>Type 0 (see Note 1)</i>	<i>Hydrogen Chloride</i>
<i>Nitro Acid</i>	<i>Type 0 (see Note 1)</i>	<i>Nitric Acid</i>
<i>NO2</i>	<i>Type 0 (see Note 1)</i>	<i>Nitrogen Dioxide</i>
<i>Phosgene</i>	<i>Type 0</i>	<i>Phosgene</i>
<i>TDI</i>	<i>Type 0 (see Note 1)</i>	<i>Toluene Diisocyanate</i>
<i>Methanol</i>	<i>Type 1</i>	<i>Methanol</i>
<i>PO</i>	<i>Type 1</i>	<i>Propylene Oxide</i>
<i>Styrene</i>	<i>Type 1</i>	<i>Styrene</i>
<i>EEA</i>	<i>Type 1</i>	<i>Ethylene Glycol Monoethyl Ether Acetate</i>
<i>EE</i>	<i>Type 1</i>	<i>Ethylene Glycol Monoethyl Ether</i>
<i>EG</i>	<i>Type 1</i>	<i>Ethylene Glycol</i>
<i>EO</i>	<i>Type 1</i>	<i>Ethylene Oxide</i>
<i>Note :</i> 1. <i>HCL, Nitric Acid, NO2 and TDI are TYPE 1 toxic fluids</i> 2. <i>DEE is a TYPE 0 toxic fluid</i>		

Tabel B.2 – *Properties of the Representative Fluids Used in Level 1 Analysis*

Fluid	MW	Liquid Density (lb/ft ³)	NBP (°F)	Ambient State	Cp						
					Ideal Gas Specific Heat Eq.	Ideal Gas Constant A	Ideal Gas Constant B	Ideal Gas Constant C	Ideal Gas Constant D	Ideal Gas Constant E	AIT (°F)
C1-C2	23	15.639	-193	Gas	Note 1	12.3	1.150E-01	-2.87E-05	-1.30E-09	N/A	1036
C3 – C4	51	33.61	-6.3	Gas	Note 1	2.632	0.3188	-1.347E4	1.466E-8	N/A	696
C5	72	39.03	97	Liquid	Note 1	-3.626	0.4873	-2.6E-4	5.3E-8	N/A	544
C6 - C8	100	42.702	210	Liquid	Note 1	-5.146	6.76E-01	-3.65E-04	7.658E-08	N/A	433
C9 – C12	149	45.823	364	Liquid	Note 1	-8.5	1.01E+00	-5.56E-04	1.180E-07	N/A	406
C13 – C16	205	47.728	502	Liquid	Note 1	-11.7	1.39E+00	-7.72E-04	1.670E-07	N/A	396
C17 –C25	280	48.383	651	Liquid	Note 1	-22.4	1.94E+00	-1.12E-03	-2.53E-07	N/A	396
C25+	422	56.187	981	Liquid	Note 1	-22.4	1.94E+00	-1.12E-03	-2.53E-07	N/A	396
Water	18	62.3	212	Liquid	Note 3	2.76E+05	-2.09E+03	8.125	-1.41E-02	9.37E-06	N/A
Steam	18	62.3	212	Gas	Note 3	3.34E+04	2.68E+04	2.61e+03	8.90E+03	1.17E+03	N/A
Acid (low)	18	62.3	212	Liquid	Note 3	2.76E+05	-2.09E+03	8.125	-1.41E-02	9.37E-06	N/A
H2	2	4.433	-423	Gas	Note 1	27.1	9.270E-03	-1.38E-05	7.650E-09	N/A	752
H2S	34	61.993	-75	Gas	Note 1	31.9	1.440E-03	2.430E-05	-1.18E-08	N/A	500
HF	20	60.37	68	Gas	Note 1	29.1	6.610E-04	-2.03E-06	2.500E-09	N/A	32000
CO	28	50	-312	Gas	Note 2	2.91E+04	8.77E+03	3.09E+03	8.46E+03	1.54E+03	1128
DEE	74	45	95	Liquid	Note 2	8.62+E04	2.55E+05	1.54E+03	1.44E+05	-6.89E+02	320

<i>HCL</i>	36	74	-121	<i>Gas</i>	---	---	---	---	---	---	<i>N/A</i>
<i>Nitro Acid</i>	63	95	250	<i>Liquid</i>	---	---	---	---	---	---	<i>N/A</i>
<i>AlCl3</i>	133.5	152	382	<i>Powder</i>	<i>Note 1</i>	4.34E+04	3.97E+04	4.17E+02	2.40E+04	<i>N/A</i>	1036
<i>NO2</i>	90	58	275	<i>Liquid</i>	---	---	---	---	---	---	<i>N/A</i>
<i>Phosgene</i>	99	86	181	<i>Liquid</i>	---	---	---	---	---	---	<i>N/A</i>
<i>TDI</i>	174	76	484	<i>Liquid</i>	---	---	---	---	---	---	1148
<i>Methanol</i>	32	50	149	<i>Liquid</i>	<i>Note 2</i>	3.93E+04	8.79E+04	1.92E+03	5.37E+04	8.97E+02	867
<i>PO</i>	58	52	93	<i>Liquid</i>	<i>Note 2</i>	4.95E+04	1.74E+05	1.56E+03	1.15E+05	7.02E+02	840
<i>Styrene (Aromatic)</i>	104	42.7	293	<i>Liquid</i>	<i>Note 2</i>	8.93E+04	2.15E+05	7.72E+02	9.99E+04	2.44E+03	914
<i>EEA</i>	132	61	313	<i>Liquid</i>	<i>Note 2</i>	1.06E+05	2.40E+05	6.59E+02	1.50E+05	1.97E+03	715
<i>EE</i>	90	58	275	<i>Liquid</i>	<i>Note 2</i>	3.25E+04	3.00E+05	1.17E+03	2.08E+05	4.73E+02	455
<i>EG</i>	62	69	387	<i>Liquid</i>	<i>Note 2</i>	6.30E+04	1.46E+05	1.67E+03	9.73E+04	7.74E+02	745
<i>EO</i>	44	55	51	<i>Gas</i>	<i>Note 2</i>	3.35E+04	1.21E+05	1.61E+03	8.24E+04	7.37E+02	804
<i>Pyrophoric</i>	149	45.823	364	<i>Liquid</i>	<i>Note 1</i>	-8.5	1.01E+00	-5.56E-04	1.180E-07	<i>N/A</i>	<i>Note 3</i>

Note :

1. $C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$ with T in K, units for C_p are J/Kmol-K
2. $C_p = A + B \left[\frac{\frac{C}{T}}{\sinh\left[\frac{C}{T}\right]} \right]^2 + D \left[\frac{\frac{E}{T}}{\cosh\left[\frac{E}{T}\right]} \right]^2$ with T in K, units for C_p are J/Kmol-K
3. $C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$ with T in K, units for C_p are J/Kmol-K
4. Pyrophoric materials, by definition, auto-ignite and therefore, a very low value for the AIT is assumed.
5. Conversion factor for units of C_p is $1 \text{ J/kmol-K} = 5.27 \times 10^{-4} \text{ Btu/kmol-}^\circ\text{R}$

Tabel B.3 - Level 1 *Consequence Analysis Guidelines for Determining the Phase of a Fluid*

<i>Phase of Fluid at Normal Operating (Storage) Conditions</i>	<i>Phase of Fluid at Ambient (after release) Conditions</i>	<i>API RBI Determination of Final Phase for Consequence Calculation</i>
<i>Gas</i>	<i>Gas</i>	<i>Model as gas</i>
<i>Gas</i>	<i>Liquid</i>	<i>Model as gas</i>
<i>Liquid</i>	<i>Gas</i>	<i>Model as gas unless the fluid boiling point at ambient conditions is greater than 80°F, then model as a liquid</i>
<i>Liquid</i>	<i>Liquid</i>	<i>Model as liquid</i>

Tabel B.4 - *Release Hole Sizes and Areas Used in API RBI Level 1 and 2 Consequence Analysis*

<i>Release Hole Number</i>	<i>Release Hole Size</i>	<i>Range of Hole Diameters (in)</i>	<i>Release Hole Diameter, d_n (in)</i>
<i>1</i>	<i>Small</i>	<i>0 - 1/4</i>	<i>$D1 = 0.25$</i>
<i>2</i>	<i>Medium</i>	<i>> 1/4 - 2</i>	<i>$D2 = 1$</i>
<i>3</i>	<i>Large</i>	<i>> 2 - 6</i>	<i>$D3 = 4$</i>
<i>4</i>	<i>Rupture</i>	<i>> 6</i>	<i>$D4 = \min [D, 16]$</i>

Tabel B.5 - *Detection and Isolation System Rating Guide*

<i>Type of Detection System</i>	<i>Detection Classification</i>
<i>Instrumentation designed specifically to detect material losses by changes in operating conditions (i.e., loss of pressure or flow) in the system.</i>	<i>A</i>
<i>Suitably located detectors to determine when the material is present outside the pressure-containing envelope.</i>	<i>B</i>
<i>Visual detection, cameras, or detectors with marginal coverage.</i>	<i>C</i>
<i>Type of Isolation System</i>	<i>Isolation Classification</i>
<i>Isolation or shutdown systems activated directly from process instrumentation or detectors, with no operator intervention.</i>	<i>A</i>
<i>Isolation or shutdown systems activated by operators in the control room or other suitable locations remote from the leak.</i>	<i>B</i>
<i>Isolation dependent on manually-operated valves</i>	<i>C</i>

Tabel B.6 - *Adjustments to Release Based on Detection and Isolation Systems*

<i>System Classifications</i>		<i>Release Magnitude Adjustment</i>	<i>Reduction Factor, $fact_{di}$</i>
<i>Detection</i>	<i>Isolation</i>		
<i>A</i>	<i>A</i>	<i>Reduce release rate or mass by 25%</i>	<i>0.25</i>
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Reduce release rate or mass by 20%</i>	<i>0.20</i>
<i>A or B</i>	<i>C</i>	<i>Reduce release rate or mass by 10%</i>	<i>0.10</i>
<i>B</i>	<i>B</i>	<i>Reduce release rate or mass by 15%</i>	<i>0.15</i>
<i>C</i>	<i>C</i>	<i>No adjustment to release rate or mass</i>	<i>0.00</i>

Tabel B.7 - *Leak Durations Based on Detection and Isolation Systems*

<i>Detection System Rating</i>	<i>Isolation System Rating</i>	<i>Maximum Leak Duration, Id_{max}</i>
<i>A</i>	<i>A</i>	20 minutes for 1/4 inch leaks 10 minutes for 1 inch leaks 5 minutes for 4 inch leaks
<i>A</i>	<i>B</i>	30 minutes for 1/4 inch leaks 20 minutes for 1 inch leaks 10 minutes for 4 inch leaks
<i>A</i>	<i>C</i>	40 minutes for 1/4 inch leaks 30 minutes for 1 inch leaks 20 minutes for 4 inch leaks
<i>B</i>	<i>A or B</i>	40 minutes for 1/4 inch leaks 30 minutes for 1 inch leaks 20 minutes for 4 inch leaks
<i>B</i>	<i>C</i>	1 hour for 1/4 inch leaks 30 minutes for 1 inch leaks 20 minutes for 4 inch leaks
<i>C</i>	<i>A, B or C</i>	1 hour for 1/4 inch leaks 40 minutes for 1 inch leaks 20 minutes for 4 inch leaks

Tabel B.8 - *Component Damage Flammable Consequence Equation Constants*

<i>Fluid</i>	<i>Continuous Releases Constants</i>								<i>Instantaneous Releases Constants</i>							
	<i>Auto-Ignition Not Likely (CAINL)</i>				<i>Auto-Ignition Likely (CAIL)</i>				<i>Auto-Ignition Not Likely (IAINL)</i>				<i>Auto-Ignition Likely (IAIL)</i>			
	<i>Gas</i>		<i>Liquid</i>		<i>Gas</i>		<i>Liquid</i>		<i>Gas</i>		<i>Liquid</i>		<i>Gas</i>		<i>Liquid</i>	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
C_1 - C_2	43	0.98			280	0.95			41	0.67			1079	0.62		
C_3 - C_4	49.48	1			313.6	1			27.96	0.72			522.9	0.63		
C_5	25.17	0.99	536	0.89	304.7	1			13.38	0.73	1.49	0.85	275	0.61		
C_6 - C_8	29	0.98	182	0.89	312.4	1	525	0.95	13.98	0.66	4.35	0.78	275.7	0.61	57	0.55
C_9 - C_{12}	12	0.98	130	0.9	391	0.95	560	0.95	7.1	0.66	3.3	0.76	281	0.61	6	0.53
C_{13} - C_{16}			64.0	0.9			1023	0.92			0.46	0.88			9.2	0.88
C_{17-25}			20.0	0.9			861	0.92			0.11	0.91			5.6	0.91
C_{25+}			11.0	0.9			544	0.90			0.03	0.99			1.4	0.99
H_2	64.5	0.99 2			420	1			61.5	0.65 7			1430	0.61 8		
H_2S	32	1			203	0.89			148	0.63			357	0.61		

<i>HF</i>																
<i>Aromatics</i>	17.87	1.09 7	103	1	374.5	1.05 5			11.46	0.66 7	70.1 2	1	512.6	0.71 3	701. 2	1
<i>Styrene</i>	17.87	1.09 7	103	1	374.5	1.05 5			11.46	0.66 7	70.1 2	1	512.6	0.71 3	701. 2	1
<i>CO</i>	0.107	1.75 2							69.68	0.66 7						
<i>DEE</i>	39.84	1.13 4	737. 4	1.1 06	320.7	1.03 3	6289	0.649	155.7	0.66 7	5.10 5	0.91 9			5.67 2	0.91 9
<i>Methanol</i>	0.026	0.90 9	175 1	0.9 34					28.11	0.66 7	1.91 9	0.9				
<i>PO</i>	14.62	1.11 4	129 5	0.9 6					65.58	0.66 7	3.40 4	0.86 9				
<i>EEA</i>	0.002	1.03 5	117	1					8.014	0.66 7	69	1				
<i>EE</i>	12.62	1.00 5	173. 1	1					38.87	0.66 7	72.2 1	1				
<i>EG</i>	7.721	0.97 3	108	1					6.525	0.66 7	69	1				
<i>EO</i>	31.03	1.06 9							136.3	0.66 7						
<i>Pyrophoric</i>	12	0.98	130	0.9	391	0.95	560	0.95	7.1	0.66	3.3	0.76	281	0.61	6	0.53

Tabel B.9 - *Personnel Injury Flammable Consequence Equation Constants*

<i>Fluid</i>	<i>Continuous Releases Constants</i>								<i>Instantaneous Releases Constants</i>							
	<i>Auto-Ignition Not Likely (CAINL)</i>				<i>Auto-Ignition Likely (CAIL)</i>				<i>Auto-Ignition Not Likely (IAINL)</i>				<i>Auto-Ignition Likely (IAIL)</i>			
	<i>Gas</i>		<i>Liquid</i>		<i>Gas</i>		<i>Liquid</i>		<i>Gas</i>		<i>Liquid</i>		<i>Gas</i>		<i>Liquid</i>	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
<i>C1-C2</i>	110	0.96			745	0.92			79	0.67			3100	0.63		
<i>C3-C4</i>	125.2	1			836.7	1			57.72	0.75			1769	0.63		
<i>C5</i>	62.05	1	1545	0.89	811	1			28.45	0.76	4.34	0.85	959.6	0.63		
<i>C6-C8</i>	68	0.96	516	0.89	828.7	1	1315	0.92	26.72	0.67	12.7	0.78	962.8	0.63	224	0.54
<i>C9-C12</i>	29	0.96	373	0.89	981	0.92	1401	0.92	13	0.66	9.5	0.76	988	0.63	20	0.54
<i>C13-C16</i>			183	0.89			2850	0.9			1.3	0.88			26	0.88
<i>C17-C25</i>			57	0.89			2420	0.9			0.32	0.91			16	0.91
<i>C25 +</i>			33	0.89			1604	0.9			0.08 1	0.99			4.1	0.99

<i>H2</i>	165	0.93 3			1117	1			118.5	0.65 2			4193	0.621		
<i>H2S</i>	52	1			375	0.94			271	0.63			1253	0.63		
<i>HF</i>																
<i>Aromatics</i>	64.14	0.96 3	353. 5	0.88 3	1344	0.93 7	487.7	0.26 8	18.08	0.68 6	0.14	0.93 5	512.6	0.713	1.40 4	0.93 5
<i>Styrene</i>	64.14	0.96 3	353. 5	0.88 3	1344	0.93 7	487.7	0.26 8	18.08	0.68 6	0.14	0.93 5	512.6	0.713	1.40 4	0.93 5
<i>CO</i>	27	0.99 1							105.3	0.69 2						
<i>DEE</i>	128.1	1.02 5	971. 9	1.21 9	1182	0.99 7	2658	0.86 4	199.1	0.68 2	47.1 3	0.81 4	821.7	0.657	52.3 6	0.81 4
<i>Methanol</i>	0.016	1.00 8	4484	0.90 2					37.71	0.68 8	6.25 5	0.87 1				
<i>PO</i>	38.76	1.04 7	1955	0.84					83.68	0.68 2	15.2 1	0.83 4				
<i>EEA</i>	0.017	0.94	443.	0.83					11.41	0.68	0.15	0.92				
<i>EE</i>	35.56	0.96	46.5	0.8					162	0.66	0.15	0.92				
<i>EG</i>	25.67	0.94	324.	0.86					8.971	0.68	0.13	0.92				
<i>EO</i>	49.43	1.10							220.8	0.66						
<i>Pyrophoric</i>	29	0.96	373	0.89	981	0.92	1401	0.92	13	0.66	9.5	0.76	988	0.63	20	0.54

Tabel B.10 - *Adjustments to Flammable Consequences for Mitigation Systems*

<i>Mitigation System</i>	<i>Consequence Area Adjustment</i>	<i>Consequence Area Reduction Factor, $fact_{mit}$</i>
<i>Inventory blowdown, coupled with isolation system classification B or higher</i>	<i>Reduce consequence area by 25%</i>	<i>0.25</i>
<i>Fire water deluge system and monitors</i>	<i>Reduce consequence area by 20%</i>	<i>0.20</i>
<i>Fire water monitors only</i>	<i>Reduce consequence area by 5%</i>	<i>0.05</i>
<i>Foam spray system</i>	<i>Reduce consequence area by 15%</i>	<i>0.15</i>

Tabel B.11 – *SI and US Customary Conversion Factors*


<i>Conversion Factors</i>	<i>SI Units</i>	<i>US Customary Units</i>
C ₁	31623	12
C ₂	1000	1
C ₃	4536	10000
C ₄	2.205	1
C ₅	25.2	55.6
C ₆	55.6	100
C ₇	1	10.763
C ₈	0.0929	1
C ₉	0.123	0.6
C ₁₀	9.744	63.32
C ₁₁	0.145	1
C ₁₂	1.8	1
C ₁₃	6.29	0.178
C ₁₄	1	3600
C ₁₅	4.685	1
C ₁₆	30.89	70
C ₁₇	0.001481	0.00723
C ₁₈	0.0050	0.0164
C ₁₉	1.085	1.015
C ₂₀	1.013	0.147
C ₂₁	5328	9590
C ₂₂	5.8	14.62
C ₂₃	0.45	0.346
C ₂₄	2.6	2.279
C ₂₅	0.0296	0.0438
C ₂₆	100	14.5
C ₂₇	1	0.3967
C ₂₈	1000	6895
C ₂₉	4.303 x 10-4	1.85 x 10-4
C ₃₀	9.76 x 10-8	6.43 x 10-7
C ₃₁	864	7200
C ₃₂	0.543	107

C_{33}	0.0815	16.03
C_{34}	86.4	1.829×10^5
C_{35}	2.382	0.0259
C_{36}	30.5	100

LAMPIRAN C

Detail Perhitungan Probabilitas Kegagalan

Pressure Vessels

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Thinning Damage Factor	Date	:	
		Rev.	:	

1. Angka inspeksi

Banyaknya inspeksi yang pernah dilakukan ialah 2 kali. Inspeksi pertama dilakukan pada tanggal 12 September 2009 dan inspeksi kedua tanggal 16 Januari 2016.

2. Kategori efektifitas Inspeksi

Inspeksi yang dilakukan dalam perawatan *pressure vessel* ialah *visual examination* dengan pengukuran ketebalan. Selain itu, tidak dilakukan inspeksi internal *pressure vessel*. Jadi dapat disimpulkan kategori efektifitas inspeksi ialah C, *Fairly effective*.

3. Menentukan hasil inspeksi

3.1. Menghitung usia inspeksi (*RBI date*)

Usia inspeksi diartikan sebagai selisih waktu antara inspeksi sebelumnya dengan inspeksi terakhir yang dilakukan. Usia inspeksi dapat dihitung dengan rumusan :

$$\begin{aligned}
 age &= RBI\ date - previous\ inspection \\
 &= 28\ Maret\ 2016 - 12.Sep.09 \\
 &= 6,5\ years
 \end{aligned}$$

3.2. Menghitung RBI *plan date*

RBI date = 22 Februari 2016

plan date = 22 Februari 2036

age RBI = 6,5 years

age RBI *plan date* = 26,5 years

3.3. Menentukan nilai ketebalan/*thickness* (trd)

t = 59,7 mm = 2,35 inch

t_{prev} = 58,7 mm = 2,31 inch

4. Menentukan laju korosi untuk *base metal* (C_{r,bm})

$$CR_{base} = f(T, pH) \times f_{CO_2}^{0.62} \times \left(\frac{S}{19} \right)^{0.146 + 0.0324 \times f_{CO_2}}$$

a. Menghitung pH

$$pH = 2.8686 + 0.7931 \times \log_{10}[T] - 0.57 \times \log_{10}[p_{CO_2}]$$

dimana

T = 95 °F

p_{CO₂} = 58,015 psi

jadi

$$\begin{aligned} pH &= 2.8686 + 0.7931 \times \log_{10}[95] - 0.57 \times \log_{10}[58.015] \\ &= 2,87 + 0,791 \times 1,98 - 0,57 \times 1,76 \\ &= 3,43 \sim 3,5 \end{aligned}$$

b. Menghitung fugacity CO₂

$$\log_{10}[f_{CO_2}] = \log_{10}[p_{CO_2}] + \log_{10}[a]$$

dimana

$$p_{CO_2} = 58,015 \text{ psi}$$

$$a = 0,996$$

sehingga

$$\log_{10}[f_{CO_2}] = \log_{10}[3.99] + \log_{10}[0.996]$$

$$= 1,8 + -0,48$$

$$= 1,32$$

$$f_{CO_2} = 0,12 \text{ bar}$$

c. Menghitung shear stress

$$S = \frac{f \times \rho_m \times v_m}{2}$$

dimana

$$f = \text{friction factor}$$

$$= 0,0497$$

$$\rho_m = \text{mixture mass density}$$

$$= 2,67 \text{ kg/m}^3$$

$$v_m = \text{mixture flow velocity}$$

$$= 8,1 \text{ m/s}$$

sehingga

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,0497 \times 2,67 \times 8,1}{2} \\ &= \frac{1,0751}{2} \\ &= 0,5375 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Laju korosi ialah sebesar :

$$\begin{aligned} CR_{base} &= 9,75 \times 0,27 \times 0,5859 \\ &= 0,54 \text{ mm/years} \\ &= 0,21 \text{ inch/years} \end{aligned}$$

5. Menentukan *Minimum Required Wall Thickness* (t_{\min})

Minimum required wall thickness dihitung dengan menggunakan *design code* yang digunakan dalam mendesain *pressure vessel*. Dalam analisa ini akan digunakan ASME Section VIII Div II, dengan rumusan *minimum required wall thickness* :

$$t_{\min} = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$$

dengan,

$$\begin{aligned} P &: 249,46 \text{ psig} = 1,72 \text{ mpa} \\ D &: 21216 \text{ mm} \\ R &: \frac{D + 2 \text{ CA}}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & : \frac{21216}{2} + 2,5 \\
 & : 10609,25 \text{ mm} \\
 & : 417,68701 \text{ inch} \\
 S & : 24656,41 \text{ psi} = 170 \text{ mpa} \\
 E & : 1
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 t_{\min} & = \frac{249.46 \times 41.76378}{2 \times 70343 \times 1 - 0.2 \times 249.46} \\
 & = \frac{18247,91}{340 - 0,344} \\
 & = \frac{18247,91}{339,656} \\
 & = 53,72468 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

6. Menentukan parameter faktor kerusakan (A_{rt})

$$A_{rt} = \max \left[1 - \frac{t_{rd} - C_{r,bm} \times \text{age}}{t_{\min} + CA} \right], 0.0$$

dengan nilai

$$CA : 1,25 \text{ mm} = 0,0492126 \text{ inch}$$

Sehingga,

a. Art pada RBI date

$$\begin{aligned}A_{rt} &= \max \left[1 - \frac{58,7}{53,7246803} - \frac{0,54}{+} \times \frac{6,5}{1,25} \right], 0.0 \\&= \max \left[1 - \frac{55,2}{55} \right], 0.0 \\&= \max [1 - 1], 0.0 \\&= \max[0,00 , 0.0] \\&= 0,00\end{aligned}$$

b. Art pada RBI plan date

$$\begin{aligned}A_{rt} &= \max \left[1 - \frac{58,7}{53,7246803} - \frac{0,54}{+} \times \frac{20}{1,25} \right], 0.0 \\&= \max \left[1 - \frac{47,9}{55} \right], 0.0 \\&= \max [1 - 0,87], 0.0 \\&= \max [0,13 , 0.0] \\&= 0,13\end{aligned}$$

7. Menentukan nilai base damage factor (d_{fb}^{thin}) berdasarkan tabel 6.6

a. base damage factor untuk RBI date

$$d_{fb}^{thin} = 1$$

b. base damage factor untuk RBI plan date

Data	Art (x)	DF (y)
1	0,12	2
Plan date	0,13	?
2	0,14	6

$$\begin{aligned} \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{y - 2}{6 - 2} &= \frac{0,13 - 0,12}{0,14 - 0,12} \\ \frac{y - 2}{4} &= \frac{0,01}{0,02} \\ y - 70 &= 2 \\ y &= 4 \end{aligned}$$

$$d_{fb}^{thin} = 4$$

8. Menentukan nilai faktor-faktor tambahan


$$\begin{aligned} \text{FIP} &: 1 \\ \text{FDL} &: 1 \\ \text{FWD} &: 1 \\ \text{FAM} &: 5 \end{aligned}$$

FOM : 1

a. total damage factor untuk RBI date

b. total damage factor untuk RBI plan date

$$\begin{aligned} d_f^{\text{thin}} &= \frac{4x + 1x + 1x + 1x + 1x + 5}{1} \\ &= 20 \end{aligned}$$

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	External Damage Factor	Date	:	
		Rev.	:	

1. Angka inspeksi

Banyaknya inspeksi yang pernah dilakukan ialah 2 kali. Inspeksi pertama dilakukan pada tanggal 28 Mei 2008 dan inspeksi kedua tanggal 12 September 2009.

2. Kategori efektifitas Inspeksi

Inspeksi eksternal pressure vessel dilakukan dengan pengukuran thickness pada 8 titik di bagian luar pressure vessel, sehingga diasumsikan pemeriksaan hanya dilakukan lebih dari 5% dari bagian pressure vessel. Kategori efektifitas inspeksi untuk eksternal damage ialah C, *fairly effective*.

3. Menentukan hasil inspeksi

3.1. Menghitung usia inspeksi (RBI date)

Usia inspeksi diartikan sebagai selisih waktu antara RBI date dengan inspeksi terakhir yang dilakukan. Usia inspeksi dapat dihitung dengan rumusan :

$$\begin{aligned}
 \text{age} &= \text{RBI date} - \text{current inspection} \\
 &= 22 \text{ Februari } 2016 - 12.\text{Sep.}09 \\
 &= 6,5 \text{ years}
 \end{aligned}$$

3.2. Menghitung RBI plan date

RBI date = 22 Februari 2016

Plan date = 22 Februari 2036

Age RBI = 6,5 years

Age plan date = 26,5 years

3.3. Menentukan nilai ketebalan/*thickness* (trd)

$t_{act} = 59,7 \text{ mm} = 2,35 \text{ inch}$

$t_{rd} = 58,7 \text{ mm} = 2,31 \text{ inch}$

4. Menentukan time-in service, age_{coat} ,

$age_{coat} = \max [0, \text{Calculation date} - \text{Date}]$

dengan,

Date = Coating inst. Date + 15 years

= 12 September 2009 + 15

= 12.Sep.24

Sehingga,

$age_{coat} = \max [0, 22 \text{ Februari } 2036 - 12.\text{Sep.}24]$

= $\max [0, 12,5]$

= 12,5 years

5. Menentukan time-in service, age,

$age = \min [age_{tk}, age_{coat}]$

$$= \min [6,5 \quad 12,5]$$

$$= 6,5 \text{ years}$$

6. Menentukan laju korosi dasar (C_{rb}) berdasarkan *the driver* dan suhu operasi dengan menggunakan tabel 6.8 lampiran B

The driver didefinisikan sebagai kondisi atmosfer lingkungan yang dapat menyebabkan laju korosi. *Pressure vessel* yang dianalisis berada di sekitar laut, sehingga *the driver* termasuk *marine/cooling tower drift area*. Suhu operasinya berada pada 35°C, atau sekitar 32°. Sehingga nilai laju korosinya (C_{rb}) sebesar 0.127 mm/years atau sama dengan 0.005 inch/years.

$$C_{rb} = 0,127 \text{ mm/years}$$

$$= 0,005 \text{ inch/years}$$

7. Menentukan laju korosi akhir dengan menggunakan rumusan :

$$C_r = C_{rb} \times \max [FPS, FIP]$$

Nilai faktor tambahan didapatkan dengan ketentuan dibawah ini :

1. Nilai tambahan untuk Pipe Supports, F_{PS}

Apabila pipa didukung dengan penyangga secara langsung atau konfigurasi pendukung yang lain yang tidak sesuai dengan perawatan coating maka nilai FPS = 2 ; jika tidak, FPS = 1

2. Nilai tambahan untuk Interface (F_{IP})

Apabila pipa memiliki penghubung yang masuk ke dalam tanah atau air, maka $F_{IP} = 2$; jika tidak, $F_{IP} = 1$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 C_r &= C_{rB} \times \max [\text{FPS}, \text{FIP}] \\
 &= 0,13 \times \max [2, 2] \\
 &= 0,13 \times 4 \\
 &= 0,508 \text{ mm/years}
 \end{aligned}$$

8. Menentukan *Minimum Required Wall Thickness* (t_{\min})

Minimum required wall thickness dihitung dengan menggunakan *design code* yang digunakan dalam mendesain *pressure vessel*. Dalam analisa ini akan digunakan ASME Section VIII Div II, dengan rumusan *minimum required wall thickness* :

$$t_{\min} = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$$

dengan,

$$\begin{aligned}
 P &: 249,46 \text{ psig} = 1,72 \text{ mpa} \\
 D &: 21216 \text{ mm} \\
 R &: \frac{D + 2 \text{ CA}}{2} \\
 &: \frac{21216 + 2,5}{2} \\
 &: 10609,25 \text{ mm} \\
 &: 417,687008 \text{ inch} \\
 S &: 24656,41 \text{ psig} = 170 \text{ mpa}
 \end{aligned}$$

E : 1

Sehingga,

$$\begin{aligned}t_{\min} &= \frac{254.39 \times 417.6378}{2 \times 23500 \times 1 - 0.2 \times 254.39} \\&= \frac{18247,91}{340 - 0,344} \\&= \frac{18247,91}{339,656} \\&= 53,7246803 \text{ mm}\end{aligned}$$

6. Menentukan parameter faktor kerusakan (A_{rt})

$$A_{rt} = \max \left[1 - \frac{t_{rd} - C_{r,bm} \times \text{age}}{t_{\min} + CA} \right], 0.0$$

dengan nilai

$$CA : 1,25 \text{ mm} = 0,0492126 \text{ inch}$$

Sehingga,

a. Parameter faktor kerusakan pada RBI date

$$\begin{aligned}A_{rt} &= \max \left[1 - \frac{58,7 - 0,5080 \times 0}{53,72468 + 1,25} \right], 0.0 \\&= \max \left[1 - \frac{58,7}{55} \right], 0.0 \\&= \max [1 - 1,07], 0.0\end{aligned}$$

$$= \max[-0,07 , \quad 0]$$

$$= 0,00$$

b. Parameter faktor kerusakan pada RBI plan date

$$A_{rt} = \max \left[1 - \frac{58,7 - 0,5080 \times 20}{53,72468 + 1,25} \right], 0.0$$

$$= \max \left[1 - \frac{48,5}{55} \right], 0.0$$

$$= \max [1 - 0,88], 0.0$$

$$= \max[0,12 , 0.0]$$

$$= 0,12$$


7. Menentukan nilai damage factor for external (d_f^{extd}) berdasarkan tabel 6.6 lampiran B

a. Menentukan damage factor for external pada RBI date

$$d_f^{\text{extd}} = 1$$

b. Menentukan damage factor for external pada plan date

$$d_f^{\text{extd}} = 2$$

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pressure Vessel - V110	Date	:	
		Rev.	:	

A Thinning Damage Factor

A.1. Angka Inspeksi

2

Banyaknya inspeksi yang telah dilakukan

A.2. Category of Inspection

Fairly Effective

C

Inspeksi visual dengan pengukuran ketebalan

A.3. Hasil Inspeksi

A.3.1 Usia inspeksi

RBI date

22 Feb '16

Plan date

22 Feb '36

Age RBI

6,5 years

Age plan date

26,5 years

A.3.2 Thickness inspeksi terakhir

t_{rd} mm

58,7

A.4. Laju korosi

$C_{r,bm}$ (mm/years)

0,54

A.5. Minimum Required Wall Thickness (t_{min})

t_{min} mm

53,725

Minimum Required Wall Thickness (t_{min}) dihitung menggunakan rumusan pada ASME Section VIII Div 2.

A.6. Parameter Damage Factor (A_{rt})

a. Art pada RBI date

A_{rt}

0,00

b. Art pada plan date

A_{rt}

0,13

A.7. Base damage factor D_{fb}^{thin}

a. Menentukan besarnya base damage factor pada RBI

$$D_{fb}^{thin} = 1$$

b. Menentukan base damage factor pada plan date

$$D_{fb}^{thin} = 4$$

A.8. Adjustment Factor

A.8.1. On-line Monitoring (F_{OM})

Tidak dilakukan *On-line monitoring*

A.8.2. Injection/Mix Points (F_{IP})

Tidak ada *injection point*

A.8.3. Deadlegs (F_{DL})

Tidak ada *deadlegs*

A.8.4. Welded Construction (F_{WD})

Konstruksi di las

A.8.5. Maintenance with API 653

Tidak di rawat berdasarkan *code* API 653

A.8.6. Settlement (F_{SM})

Tidak ada *settlement*

A.9. Total damage factor for thinning

a. Menentukan damage factor pada RBI date

$$\begin{aligned} D_f^{thin} &= \frac{D_{fb}^{thin} \times FIP \times FDL \times FWD \times FAM \times FSM}{FOM} \\ &= \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 1}{1} \\ &= 5 \end{aligned}$$

b. Menentukan damage factor pada plan date

$$\begin{aligned} D_f^{thin} &= \frac{D_{fb}^{thin} \times FIP \times FDL \times FWD \times FAM \times FSM}{FOM} \\ &= \frac{4 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 1}{1} \end{aligned}$$

= 20

B External Damage Factor

B.1. Under Insulation for Ferritic Component 0

Peralatan tidak terbuat dari ferritic

B.2. Uninsulated Austenitic Stainless Steel 0

Peralatan tidak terbuat dari austenitic stainless steel

B.3. Under Insulation for Austenitic Stainless Steel 0

Peralatan tidak terbuat dari austenitic stainless steel

B.4. External Damage Factor

B.4.1. Angka Inspeksi 2

Banyaknya inspeksi yang pernah dilakukan

B.4.2. Kategori efektifitas inspeksi D

Inspeksi visual lebih dari 60% bagian pressure vessel

B.4.3. Hasil Inspeksi

B.4.3.1 Usia inspeksi

RBI date 22 Feb '16

Plan date 22 Feb '36

Age RBI (years) 6,5

Age plan date (years) 26,5

B.4.3.2. Thickness

t_{rd} mm 58,7

B.4.4. Usia coating

age_{coat} 12,5

B.4.5. Time in service

age 6,5

B.4.6. Base Corrosion Rate

C_{rb} 0,127

Suhu operasi pressure vessel adalah 35°C (32°C)

B.4.7. Final Corrosion Rate

C_r

0,127

B.4.7. Minimum Required Wall Thickness

t_{min} mm

53,72

Minimum Required Wall Thickness (t_{min}) dihitung menggunakan rumusan pada ASME Section VIII Div 2.

B.4.8. Parameter Damage Factor (A_{rt})

a. Parameter damage pada RBI date

A_{rt}

0

b. Parameter damage pada plan date

A_{rt}

0,12

B.4.9. Base Damage Factor (D_{fb}^{thin})

a. Base damage factor pada RBI date

D_{fb}^{thin}

1

b. Base damage factor pada plan date

D_{fb}^{thin}

2

B.5. Total Damage Factor for External

a. Damage factor pada RBI date

D_f^{extd}

1

$$\begin{aligned} D_f^{extd} &= D_f^{CUIF} + D_f^{EXT-CLSCC} + D_f^{CUI-CLSCC} + D_f^{Extd} \\ &= 0 + 0 + 0 + 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

b. Damage factor pada plan date

D_f^{extd}


2

$$\begin{aligned} D_f^{extd} &= D_f^{CUIF} + D_f^{EXT-CLSCC} + D_f^{CUI-CLSCC} + D_f^{Extd} \\ &= 0 + 0 + 0 + 2 \\ &= 2 \end{aligned}$$

C Total Multiple Damage Factor

a. Total damage factor pada RBI date

	$D_{f-total}$	6
	b. Total damage factor pada plan date	
	$D_{f-total}$	22
D	Generic Failure Frequency (gff)	
	gff	0,0000306
	Nilai gff dipengaruhi oleh tipe <i>pressure vessel</i> . Untuk drum, nilai gff adalah 3.06E-05	
E	Management Systems Factor (F_{SM})	
	F_{SM}	0,779
	Nilai FMS didapatkan dari hasil penilaian kriteria seperti pada tabel 6.2 Lampiran B	
F	Probability of Failure (Pof)	
	PoF pada RBI date	0,000143
	PoF pada plan date	0,0005244

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pressure Vessel - V120	Date	:	
		Rev.	:	

A Thinning Damage Factor

A.1. Angka Inspeksi

2

Banyaknya inspeksi yang telah dilakukan

A.2. Category of Inspection

Fairly Effective

C

Inspeksi visual dengan pengukuran ketebalan

A.3. Hasil Inspeksi

A.3.1 Usia inspeksi

RBI date

22 Feb '16

Plan date

22 Feb '36

Age RBI

6.5 years

Age plan date

26.5 years

A.3.2 Thickness inspeksi terakhir

t_{rd} mm

58.7

A.4. Laju korosi

$C_{r,bm}$ (mm/years)

0.54

A.5. Minimum Required Wall Thickness (t_{min})

t_{min} mm

53.725

Minimum Required Wall Thickness (t_{min}) dihitung menggunakan rumusan pada ASME Section VIII Div 2.

A.6. Parameter Damage Factor (A_{rt})

a. Art pada RBI date

A_{rt}

0.00

b. Art pada plan date

A_{rt}

0.13

A.7. Base damage factor D_{fb}^{thin}

a. Menentukan besarnya base damage factor pada RBI

$$D_{fb}^{thin} = 1$$

b. Menentukan base damage factor pada plan date

$$D_{fb}^{thin} = 4$$

A.8. Adjustment Factor

A.8.1. On-line Monitoring (F_{OM})

Tidak dilakukan *On-line monitoring*

A.8.2. Injection/Mix Points (F_{IP})

Tidak ada *injection point*

A.8.3. Deadlegs (F_{DL})

Tidak ada *deadlegs*

A.8.4. Welded Construction (F_{WD})

Konstruksi di las

A.8.5. Maintenance with API 653

Tidak di rawat berdasarkan *code* API 653

A.8.6. Settlement (F_{SM})

Tidak ada *settlement*

A.9. Total damage factor for thinning

a. Menentukan damage factor pada RBI date

$$\begin{aligned} D_f^{thin} &= \frac{D_{fb}^{thin} \times FIP \times FDL \times FWD \times FAM \times FSM}{FOM} \\ &= \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 1}{1} \\ &= 5 \end{aligned}$$

b. Menentukan damage factor pada plan date

$$\begin{aligned} D_f^{thin} &= \frac{D_{fb}^{thin} \times FIP \times FDL \times FWD \times FAM \times FSM}{FOM} \\ &= \frac{4 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 1}{1} \end{aligned}$$

= 20

B External Damage Factor

B.1. Under Insulation for Ferritic Component 0

Peralatan tidak terbuat dari ferritic

B.2. Uninsulated Austenitic Stainless Steel 0

Peralatan tidak terbuat dari austenitic stainless steel

B.3. Under Insulation for Austenitic Stainless Steel 0

Peralatan tidak terbuat dari austenitic stainless steel

B.4. External Damage Factor

B.4.1. Angka Inspeksi 2

Banyaknya inspeksi yang pernah dilakukan

B.4.2. Kategori efektifitas inspeksi D

Inspeksi visual lebih dari 60% bagian pressure vessel

B.4.3. Hasil Inspeksi

B.4.3.1 Usia inspeksi

RBI date 22 Feb '16

Plan date 22 Feb '36

Age RBI (years) 6.5

Age plan date (years) 26.5

B.4.3.2. Thickness

t_{rd} mm 58.7

B.4.4. Usia coating

age_{coat} 12.5

B.4.5. Time in service

age 6.5

B.4.6. Base Corrosion Rate

C_{rb} 0.127

Suhu operasi pressure vessel adalah 35°C (32°C)

B.4.7. Final Corrosion Rate

C_r

0.127

B.4.7. Minimum Required Wall Thickness

t_{min} mm

53.72

Minimum Required Wall Thickness (t_{min}) dihitung menggunakan rumusan pada ASME Section VIII Div 2.

B.4.8. Parameter Damage Factor (A_{rt})

a. Parameter damage pada RBI date

A_{rt}

0

b. Parameter damage pada plan date

A_{rt}

0.12

B.4.9. Base Damage Factor (D_{fb}^{thin})

a. Base damage factor pada RBI date

D_{fb}^{thin}

1

b. Base damage factor pada plan date

D_{fb}^{thin}

2

B.5. Total Damage Factor for External

a. Damage factor pada RBI date

D_f^{extd}

1

$$\begin{aligned} D_f^{extd} &= D_f^{CUIF} + D_f^{EXT-CLSCC} + D_f^{CUI-CLSCC} + D_f^{Ext} \\ &= 0 + 0 + 0 + 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

b. Damage factor pada plan date

D_f^{extd}

2

$$\begin{aligned} D_f^{extd} &= D_f^{CUIF} + D_f^{EXT-CLSCC} + D_f^{CUI-CLSCC} + D_f^{Ext} \\ &= 0 + 0 + 0 + 2 \\ &= 2 \end{aligned}$$


C Total Multiple Damage Factor

a. Total damage factor pada RBI date

$D_{f-total}$

6

	b. Total damage factor pada plan date	
	$D_{f-total}$	22
D	Generic Failure Frequency (gff)	
	gff	0.0000306
	Nilai gff dipengaruhi oleh tipe <i>pressure vessel</i> . Untuk drum, nilai gff adalah 3.06E-05	
E	Management Systems Factor (F_{SM})	
	F_{SM}	0.779
	Nilai FMS didapatkan dari hasil penilaian kriteria seperti pada tabel 6.2 Lampiran B	
F	Probability of Failure (Pof)	
	PoF pada RBI date	0.000143
	PoF pada plan date	0.0005244

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pressure Vessel - V130	Date	:	
		Rev.	:	

A Thinning Damage Factor

A.1. Angka Inspeksi

2

Banyaknya inspeksi yang telah dilakukan

A.2. Category of Inspection

Fairly Effective

C

Inspeksi visual dengan pengukuran ketebalan

A.3. Hasil Inspeksi

A.3.1 Usia inspeksi

RBI date

22 Feb '16

Plan date

22 Feb '36

Age RBI

6.5 years

Age plan date

26.5 years

A.3.2 Thickness inspeksi terakhir

t_{rd} mm

58.7

A.4. Laju korosi

$C_{r,bm}$ (mm/years)

0.54

A.5. Minimum Required Wall Thickness (t_{min})

t_{min} mm

53.725

Minimum Required Wall Thickness (t_{min}) dihitung menggunakan rumusan pada ASME Section VIII Div 2.

A.6. Parameter Damage Factor (A_{rt})

a. Art pada RBI date

A_{rt}

0.00

b. Art pada plan date

A_{rt}

0.13

A.7. Base damage factor D_{fb}^{thin}

a. Menentukan besarnya base damage factor pada RBI

$$D_{fb}^{thin} = 1$$

b. Menentukan base damage factor pada plan date

$$D_{fb}^{thin} = 4$$

A.8. Adjustment Factor

A.8.1. On-line Monitoring (F_{OM}) 1

Tidak dilakukan *On-line monitoring*

A.8.2. Injection/Mix Points (F_{IP}) 1

Tidak ada *injection point*

A.8.3. Deadlegs (F_{DL}) 1

Tidak ada *deadlegs*

A.8.4. Welded Construction (F_{WD}) 1

Konstruksi di las

A.8.5. Maintenance with API 653 5

Tidak di rawat berdasarkan *code* API 653

A.8.6. Settlement (F_{SM}) 1

Tidak ada *settlement*

A.9. Total damage factor for thinning

a. Menentukan damage factor pada RBI date

$$\begin{aligned} D_f^{thin} &= \frac{D_{fb}^{thin} \times FIP \times FDL \times FWD \times FAM \times FSM}{FOM} \\ &= \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 1}{1} \\ &= 5 \end{aligned}$$

b. Menentukan damage factor pada plan date

$$\begin{aligned} D_f^{thin} &= \frac{D_{fb}^{thin} \times FIP \times FDL \times FWD \times FAM \times FSM}{FOM} \\ &= \frac{4 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 1}{1} \end{aligned}$$

= 20

B External Damage Factor

B.1. Under Insulation for Ferritic Component 0

Peralatan tidak terbuat dari ferritic

B.2. Uninsulated Austenitic Stainless Steel 0

Peralatan tidak terbuat dari austenitic stainless steel

B.3. Under Insulation for Austenitic Stainless Steel 0

Peralatan tidak terbuat dari austenitic stainless steel

B.4. External Damage Factor

B.4.1. Angka Inspeksi 2

Banyaknya inspeksi yang pernah dilakukan

B.4.2. Kategori efektifitas inspeksi D

Inspeksi visual lebih dari 60% bagian pressure vessel

B.4.3. Hasil Inspeksi

B.4.3.1 Usia inspeksi

RBI date 22 Feb '16

Plan date 22 Feb '36

Age RBI (years) 6.5

Age plan date (years) 26.5

B.4.3.2. Thickness

t_{rd} mm 58.7

B.4.4. Usia coating

age_{coat} 12.5

B.4.5. Time in service

age 6.5

B.4.6. Base Corrosion Rate

C_{rb} 0.127

Suhu operasi pressure vessel adalah 35°C (32°C)

B.4.7. Final Corrosion Rate

C_r

0.127

B.4.7. Minimum Required Wall Thickness

t_{min} mm

53.72

Minimum Required Wall Thickness (t_{min}) dihitung menggunakan rumusan pada ASME Section VIII Div 2.

B.4.8. Parameter Damage Factor (A_{rt})

a. Parameter damage pada RBI date

A_{rt}

0

b. Parameter damage pada plan date

A_{rt}

0.12

B.4.9. Base Damage Factor (D_{fb}^{thin})

a. Base damage factor pada RBI date

D_{fb}^{thin}

1

b. Base damage factor pada plan date

D_{fb}^{thin}

2

B.5. Total Damage Factor for External

a. Damage factor pada RBI date

D_f^{extd}

1

$$\begin{aligned} D_f^{extd} &= D_f^{CUIF} + D_f^{EXT-CLSCC} + D_f^{CUI-CLSCC} + D_f^{Ext} \\ &= 0 + 0 + 0 + 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

b. Damage factor pada plan date

D_f^{extd}

2

$$\begin{aligned} D_f^{extd} &= D_f^{CUIF} + D_f^{EXT-CLSCC} + D_f^{CUI-CLSCC} + D_f^{Ext} \\ &= 0 + 0 + 0 + 2 \\ &= 2 \end{aligned}$$


C Total Multiple Damage Factor

a. Total damage factor pada RBI date

$D_{f-total}$

6

	b. Total damage factor pada plan date	
	$D_{f-total}$	22
D	Generic Failure Frequency (gff)	
	gff	0.0000306
	Nilai gff dipengaruhi oleh tipe <i>pressure vessel</i> . Untuk drum, nilai gff adalah 3.06E-05	
E	Management Systems Factor (F_{SM})	
	F_{SM}	0.779
	Nilai FMS didapatkan dari hasil penilaian kriteria seperti pada tabel 6.2 Lampiran B	
F	Probability of Failure (Pof)	
	PoF pada RBI date	0.000143
	PoF pada plan date	0.0005244

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pressure Vessel - V140	Date	:	
		Rev.	:	

A Thinning Damage Factor

A.1. Angka Inspeksi

2

Banyaknya inspeksi yang telah dilakukan

A.2. Category of Inspection

Fairly Effective

C

Inspeksi visual dengan pengukuran ketebalan

A.3. Hasil Inspeksi

A.3.1 Usia inspeksi

RBI date

22 Feb '16

Plan date

22 Feb '36

Age RBI

6.5 years

Age plan date

26.5 years

A.3.2 Thickness inspeksi terakhir

t_{rd} mm

58.7

A.4. Laju korosi

$C_{r,bm}$ (mm/years)

0.54

A.5. Minimum Required Wall Thickness (t_{min})

t_{min} mm

53.725

Minimum Required Wall Thickness (t_{min}) dihitung menggunakan rumusan pada ASME Section VIII Div 2.

A.6. Parameter Damage Factor (A_{rt})

a. Art pada RBI date

A_{rt}

0.00

b. Art pada plan date

A_{rt}

0.13

A.7. Base damage factor D_{fb}^{thin}

a. Menentukan besarnya base damage factor pada RBI

$$D_{fb}^{thin} = 1$$

b. Menentukan base damage factor pada plan date

$$D_{fb}^{thin} = 4$$

A.8. Adjustment Factor

A.8.1. On-line Monitoring (F_{OM}) 1

Tidak dilakukan *On-line monitoring*

A.8.2. Injection/Mix Points (F_{IP}) 1

Tidak ada *injection point*

A.8.3. Deadlegs (F_{DL}) 1

Tidak ada *deadlegs*

A.8.4. Welded Construction (F_{WD}) 1

Konstruksi di las

A.8.5. Maintenance with API 653 5

Tidak di rawat berdasarkan *code* API 653

A.8.6. Settlement (F_{SM}) 1

Tidak ada *settlement*

A.9. Total damage factor for thinning

a. Menentukan damage factor pada RBI date

$$\begin{aligned} D_f^{thin} &= \frac{D_{fb}^{thin} \times FIP \times FDL \times FWD \times FAM \times FSM}{FOM} \\ &= \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 1}{1} \\ &= 5 \end{aligned}$$

b. Menentukan damage factor pada plan date

$$\begin{aligned} D_f^{thin} &= \frac{D_{fb}^{thin} \times FIP \times FDL \times FWD \times FAM \times FSM}{FOM} \\ &= \frac{4 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 1}{1} \end{aligned}$$

= 20

B External Damage Factor

B.1. Under Insulation for Ferritic Component 0

Peralatan tidak terbuat dari ferritic

B.2. Uninsulated Austenitic Stainless Steel 0

Peralatan tidak terbuat dari austenitic stainless steel

B.3. Under Insulation for Austenitic Stainless Steel 0

Peralatan tidak terbuat dari austenitic stainless steel

B.4. External Damage Factor

B.4.1. Angka Inspeksi 2

Banyaknya inspeksi yang pernah dilakukan

B.4.2. Kategori efektifitas inspeksi D

Inspeksi visual lebih dari 60% bagian pressure vessel

B.4.3. Hasil Inspeksi

B.4.3.1 Usia inspeksi

RBI date 22 Feb '16

Plan date 22 Feb '36

Age RBI (years) 6.5

Age plan date (years) 26.5

B.4.3.2. Thickness

t_{rd} mm 58.7

B.4.4. Usia coating

age_{coat} 12.5

B.4.5. Time in service

age 6.5

B.4.6. Base Corrosion Rate

C_{rb} 0.127

Suhu operasi pressure vessel adalah 35°C (32°C)

B.4.7. Final Corrosion Rate

C_r

0.127

B.4.7. Minimum Required Wall Thickness

t_{min} mm

53.72

Minimum Required Wall Thickness (t_{min}) dihitung menggunakan rumusan pada ASME Section VIII Div 2.

B.4.8. Parameter Damage Factor (A_{rt})

a. Parameter damage pada RBI date

A_{rt}

0

b. Parameter damage pada plan date

A_{rt}

0.12

B.4.9. Base Damage Factor (D_{fb}^{thin})

a. Base damage factor pada RBI date

D_{fb}^{thin}

1

b. Base damage factor pada plan date

D_{fb}^{thin}

2

B.5. Total Damage Factor for External

a. Damage factor pada RBI date

D_f^{extd}

1

$$\begin{aligned} D_f^{extd} &= D_f^{CUIF} + D_f^{EXT-CLSCC} + D_f^{CUI-CLSCC} + D_f^{Ext} \\ &= 0 + 0 + 0 + 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

b. Damage factor pada plan date

D_f^{extd}

2

$$\begin{aligned} D_f^{extd} &= D_f^{CUIF} + D_f^{EXT-CLSCC} + D_f^{CUI-CLSCC} + D_f^{Ext} \\ &= 0 + 0 + 0 + 2 \\ &= 2 \end{aligned}$$

C Total Multiple Damage Factor

a. Total damage factor pada RBI date

$D_{f-total}$


6

	b. Total damage factor pada plan date	
	$D_{f-total}$	22
D	Generic Failure Frequency (gff)	
	gff	0.0000306
	Nilai gff dipengaruhi oleh tipe <i>pressure vessel</i> . Untuk drum, nilai gff adalah 3.06E-05	
E	Management Systems Factor (F_{SM})	
	F_{SM}	0.779
	Nilai FMS didapatkan dari hasil penilaian kriteria seperti pada tabel 6.2 Lampiran B	
F	Probability of Failure (Pof)	
	PoF pada RBI date	0.000143
	PoF pada plan date	0.0005244

LAMPIRAN D

Detail Perhitungan Konsekuensi Kegagalan

Pressure Vessels

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 - V110	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

539 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

33,61 °F

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

696 °F

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release

Gas

Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.

Final phase

Gas

Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small

d_1

:

0,25 inch

Range of hole diameter is 0 - ¼ inch

Medium

d_2

:

1 inch

Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch

Large

d_3

:

4 inch

Range of hole diameter is 2 - 6 inch

Rupture

d_4

:

16 inch

Range of hole diameter is > 6 inch

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small

gff_1

:

8E-06

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Medium

gff_2

:

2E-07

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Large

gff_3

:

2E-06

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Rupture

gff_4

:

6E-05

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Total

gff_{total}

:

7,02E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/(k-1)}$$

$$P_{trans} = 14.504 + \left(\frac{1.0736 + 1}{2} \right)^{\frac{1.0736}{1.0736-1}}$$

$$P_{trans} = 17,3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12,1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

- Cd : Koefisien lubang pelepasan
- : 0,9 (lihat tabel .. Lampiran C)
- C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)
- : 12
- An : Luas area untuk masing-masing nth
- : $\pi d_n^2/4$
- A₁ : 0,05 m²
- A₂ : 0,79 m²
- A₃ : 12,6 m²
- A₄ : 201 m²
- k : Perbandingan kapasitas panas
- : 1,0735923
- MW : Molecular Weight
- : 51

gc : Konstanta gravitasi
: 32,2 lb_m-ft/lb_f-s²
R : Konstanta gas
: 1545 ft-lbm/lb-mol°R
Ts : Suhu penyimpanan
: 35 °C = 555 °Rankine

Besarnya laju pelepasan pada masing-masing ukuran lubang pelepasan adalah :

a. Ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$W_1 = \frac{0.9}{1} \times 0.05 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

$$W_1 = 0,35 \text{ lb/s}$$

b. Ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$W_2 = \frac{0.9}{1} \times 0.79 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

$$W_2 = 5,57 \text{ lb/s}$$

c. Ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$W_3 = \frac{0.9}{1} \times 12.6 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

$$W_3 = 89,1 \text{ lb/s}$$

d. Ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$W_4 = \frac{0.9}{1} \times 201 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

$$W_4 = 1425 \text{ lb/s}$$

4. Estimasi *fluid inventory* yang dapat terlepas

4.1. Menghitung massa fluida

$$\text{Mass}_{\text{comp}} = \rho \times V$$

dimana

$$V = 50\% V_{\text{TOTAL}}$$

$$= 50\% \times 5000$$

$$\begin{aligned}\text{Mass}_{\text{comp}} &= 33,6 \times 50\% \times 5000 \\ &= 84025 \text{ lbs}\end{aligned}$$

4.2. Menghitung massa pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam fluid inventory group, $\text{Mass}_{\text{comp},i}$

$$\text{mass}_{V110} = \text{mass}_{V120} = \text{mass}_{V130} = \text{mass}_{V140}$$

$$\text{Mass}_{\text{comp},i} = 84025 \text{ lbs}$$

4.3. Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\sum \text{mass}_{\text{inv}} = \sum_{i=1}^n \text{mass}_{\text{comp},i}$$

$$\begin{aligned}\text{Mass}_{\text{inv}} &= 3 \times 84025 \\ &= 252075 \text{ lbs}\end{aligned}$$

4.4. Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

$$A_n = 50,3 \text{ inch}^2$$

$$W_{\text{max}8} = \frac{C_d}{C_2} \times A_8 \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times gc}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

$$W_8 = 357 \text{ lb/s}$$

4.5. Menghitung massa fluida tambahan, $\text{mass}_{\text{add},n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

$$\text{mass}_{\text{add},n} = 180 \times \min[W_n, W_{\text{max}8}]$$

a. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$\text{Mass}_{\text{add1}} = 62,6 \text{ lbs}$$

b. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$\text{Mass}_{\text{add2}} = 1002 \text{ lbs}$$

c. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$\text{Mass}_{\text{add3}} = 16029 \text{ lbs}$$

d. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$\text{Mass}_{\text{add4}} = 64193,429 \text{ lbs}$$

4.6. Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*)

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

a. Available mass pada lubang pelepasan ¼ inch

$$Mass_{avail1} = 84087,614 \text{ lbs}$$

b. Available mass pada lubang pelepasan 1 inch

$$Mass_{avail2} = 85026,826 \text{ lbs}$$

c. Available mass pada lubang pelepasan 4 inch

$$Mass_{avail3} = 100054,21 \text{ lbs}$$

d. Available mass pada lubang pelepasan 16 inch

$$Mass_{avail4} = 148218,43 \text{ lbs}$$

5. Penentuan tipe pelepasan (*continuous* atau *instantaneous*)

a. Apabila ukuran lubang pelepasan adalah 6.35 mm [0.25 inch] atau kurang, maka tipe pelepasan adalah *continuous*.

b. Apabila $t_n \leq 180$ second atau massa yang terlepas lebih dari 4.536 kgs [10000 lbs], maka tipe pelepasan adalah *instantaneous*; jika tidak, maka *continuous*.

Rumusan untuk menghitung besarnya waktu :

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

1) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan ¼ inch

$$t_1 = 28747,511 \text{ scnd}$$

$$Mass = 84087,614 \text{ lbs}$$

$$Type = \textit{Continuous Release}$$

2) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 1 inch

$$t_2 = 1796,7194 \text{ scnd}$$

$$Mass = 85026,826 \text{ lbs}$$

$$Type = \textit{Instantaneous Release}$$

3) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 4 inch

$$t_3 = 112,29496 \text{ scnd}$$

$$Mass = 100054,21 \text{ lbs}$$

$$Type = \textit{Instantaneous Release}$$

4) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 16 inch

t_4	=	7,0184352 scnd
$Mass$	=	148218,43 lbs
$Type$	=	Instantaneous Release

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

Detection systems	B
Isolation systems	B
$fact_{di}$	0,15
Id_{max1}	40 mnts
Id_{max2}	30 mnts
Id_{max3}	20 mnts
Id_{max4}	Not available

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisis konsekuensi

7.1. Menghitung laju pelepasan ($Rate_n$)

$$Rate_n = W_n (1 - fact_{di})$$

$Rate_1$	0,296 lb/s
$Rate_2$	Omitted
$Rate_3$	Omitted
$Rate_4$	Omitted

7.2. Menghitung durasi kebocoran, Id_n

$$Id_n = \min\left[\left(\frac{mass_{avail,n}}{rate_n}\right), (60 \times Id_{max,n})\right]$$

Id_1	Omitted
Id_2	1800 scnd
Id_3	1200 scnd
Id_4	Not available

7.3. Menghitung masa pelepasan ($Mass_n$)

$$Mass_n = \min [(rate_n \times Id_n), mass_{avail,n}]$$

Mass ₁	Omitted
Mass ₂	8515,52
Mass ₃	90832,213
Mass ₄	148218,43

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor* , fact_{mi}

$$\text{fact}_{\text{mi}} = 0,2$$

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor* , eneff_n

$$\text{eneff}_n = 4 \log_{10}[\text{C}_4 \cdot \text{Mass}_n] - 15$$

dimana

$$\text{C}_4 = 1$$

eneff ₁	Omitted
eneff ₂	0,72
eneff ₃	4,83
eneff ₄	5,68

8.3. Menentukan tipe fluida

Tipe fluida	Type 0
-------------	--------

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-CONT} &= 49,5 \\ b_{cmd}^{AINL-CONT} &= 1 \end{aligned}$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida cair.

$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$	Omitted
--------------------------	---------

3) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

11,7 ft²
0,296 lb/s

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely* , *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-CONT} = 314$$

$$b_{cmd}^{AIL-CONT} = 1$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition likely* , *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

74,18 ft²
0,296 lb/s

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely* , *Instantaneous Release*

(AINL-INST),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-INST} &= 28 \\ b_{cmd}^{AINL-INST} &= 0,72 \end{aligned}$$

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition not likely*, *instantaneous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST}$$

Omitted

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition not likely*, *instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

Omitted

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd2}^{AINL-INST} \\ effmass_2^{AINL-INST} \end{aligned}$$

20967,058 ft²
8515,51997 lbs

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd3}^{AINL-INST} \\ effmass_3^{AINL-INST} \end{aligned}$$

17192,8041 ft²
90832,2131 lbs

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd4}^{AINL-INST} \\ effmass_4^{AINL-INST} \end{aligned}$$

20799,4841 ft²
148218,429 lbs

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AIL-INST} &= 522,9 \\ b_{cmd}^{AIL-INST} &= 0,63 \end{aligned}$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition likely* , *instantaneous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition likely* , *instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-INST}$$

$$effmass_2^{AIL-INST}$$

$$173660,067 \text{ ft}^2$$

$$8515,51997 \text{ lbs}$$

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL-INST}$$

$$effmass_3^{AIL-INST}$$

$$115076,488 \text{ ft}^2$$

$$90832,2131 \text{ lbs}$$

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL-INST}$$

$$effmass_4^{AINL-INST}$$

$$133214,911 \text{ ft}^2$$

$$148218,429 \text{ lbs}$$

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely* , *Continuous Release* (AINL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-CONT} = 125,2$$

$$b_{inj}^{AINL-CONT} = 1,00$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

$$29,62 \text{ ft}^2$$

$$0,296 \text{ lb/s}$$

- b) Pada ukuran lubang 1 inch
- c) Pada ukuran lubang 4 inch
- d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted
Omitted
Omitted

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Continuous Release* (AIL-CONT),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{aligned} a_{inj}^{AIL-CONT} &= 836,7 \\ b_{inj}^{AIL-CONT} &= 1 \end{aligned}$$

- 2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition likely , continuous release* untuk fluida gas.

- a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$\begin{aligned} CA_{inj1}^{AIL-CONT} \\ effrate_1^{AIL-CONT} \end{aligned}$$

197,9 ft²
0,296 lb/s

- b) Pada ukuran lubang 1 inch
- c) Pada ukuran lubang 4 inch
- d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted
Omitted
Omitted

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely , Instantaneous Release* (AIL-INST),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{aligned} a_{inj}^{AIL-INST} &= 57,7 \\ b_{inj}^{AIL-INST} &= 0,75 \end{aligned}$$

- 2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition not likely , instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

Omitted

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-INST}$$

$$56784,9158 \text{ ft}^2$$

$$effmass_2^{AIL-INST}$$

$$8515,51997 \text{ lbs}$$

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-INST}$$

$$49989,9921 \text{ ft}^2$$

$$effmass_3^{AIL-INST}$$

$$90832,2131 \text{ lbs}$$

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL-INST}$$

$$61371,7891 \text{ ft}^2$$

$$effmass_4^{AIL-INST}$$

$$148218,429 \text{ lbs}$$

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely* , *Instantaneous Release* (AIL-INST),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-INST} = 1769$$

$$b_{inj}^{AIL-INST} = 0,63$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition likely* , *instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

Omitted

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-INST}$$

$$587501,738 \text{ ft}^2$$

$$effmass_2^{AIL-INST}$$

$$8515,51997 \text{ lbs}$$

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-INST}$$

$$389310,208 \text{ ft}^2$$

$$effmass_3^{AIL-INST}$$

$$90832,2131 \text{ lbs}$$

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL-INST}$$

$$450673,508 \text{ ft}^2$$

$$effmass_4^{AIL-INST}$$

$$148218,429 \text{ lbs}$$

8.12. Menghitung *instantaneous /conintinuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

- a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC} = 0,0055$$

- b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC} = 1$$

- c. Pada lubang pelepasan 4 inch

$$fact_3^{IC} = 1$$

- d. Pada lubang pelepasan 16 inch

$$fact_4^{IC} = 1$$

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT} = 0$$

8.14. Menghitung *continuous /instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

- a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL} = 73,77 \text{ ft}^2$$

- b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL} = 173660 \text{ ft}^2$$

- c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL} = 115076,488 \text{ ft}^2$$

- d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL} = 133214,911 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

- a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL} = 196,8 \text{ ft}^2$$

- b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL} = 587502 \text{ ft}^2$$

- c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL} = 389310 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL}$$

$$450673,508 \text{ ft}^2$$

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

$$11,64 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$20967 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$17193 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AINL}$$

$$20799,4841 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29,45 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$56785 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$49990 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{AINL}$$

$$61371,7891 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung *AIT blended consequence area* untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung *AIT blended consequence area for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam}$$

$$11,64 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam}$$

$$20967 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

CA_{cmd3}^{flam}	17193 ft ²
--------------------	-----------------------

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

CA_{cmd4}^{flam}	20799,4841 ft ²
--------------------	----------------------------

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

CA_{inj1}^{flam}	29,45 ft ²
--------------------	-----------------------

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

CA_{inj2}^{flam}	56785 ft ²
--------------------	-----------------------

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

CA_{inj3}^{flam}	49990 ft ²
--------------------	-----------------------

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

CA_{inj4}^{flam}	61371,7891 ft ²
--------------------	----------------------------

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage


CA_{cmd}^{flam}	42047,0974 ft ²
-------------------	----------------------------

2. Consequence Area for Personel Injury

CA_{inj}^{flam}	123983,004 ft ²
-------------------	----------------------------

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

CA	123983,004 ft ²
----	----------------------------

	Consequence of Failure	No. Doc.	:
		Type	:
	Analyse Level 1	Date	:
		Rev.	:

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya, termasuk fase pelepasannya.

1.1 Memilih kelompok fluida representatif

Pemilihan fluida representatif dipengaruhi oleh jenis fluida yang diproses didalam *pressure vessel*. Fluida yang dijadikan objek penelitian dalam tugas akhir ini adalah LPG. Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana, yang termasuk dalam gugus C3.

1.2 Menentukan fase penyimpanan fluida

Fase fluida yang disimpan dalam *pressure vessel* ialah cair atau *stored liquid*.

1.3 Menentukan sifat-sifat fluida yang disimpan untuk *stored liquid*.

$$\begin{aligned}\rho &= 33,6 \text{ lb/ft}^3 \\ \text{AIT} &= 1157 \text{ }^\circ\text{Rankine} \\ \text{NBP} &= 370 \text{ }^\circ\text{Rankine}\end{aligned}$$

1.4 Menentukan fase fluida stabil setelah terlepas ke atmosfer.

Fluida yang dianalisis disimpan dalam bentuk cair dan akan berubah fase menjadi gas pada saat terlepas ke udara. Fluida LPG memiliki nilai NBP sebesar (-6.9°C) atau dibawah 80°F , sehingga fase fluida stabil dimodelkan sebagai gas.

2. Pemilihan ukuran lubang pelepasan

2.1 Menentukan diameter lubang pelepasan berdasarkan tabel 8.4 lampiran C

Annex A API 581 memberikan keterangan untuk *pressure vessel*, empat ukuran lubang pelepasan

diasumsikan untuk semua ukuran dan tipe *pressure vessel*.

Small	d_1	=	0,25 inch
Medium	d_2	=	1 inch
Large	d_3	=	4 inch
Rupture	d_4	=	16 inch

2.2 Menentukan nilai frekuensi kegagalan generic, gff, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan berdasarkan tabel 7.1 lampiran A.

Small	gff_1	=	8,00E-06
Medium	gff_2	=	2,00E-07
Large	gff_3	=	2,00E-06
Rupture	gff_4	=	6,00E-05

2.3 Menentukan nilai frekuensi kegagalan generic total

$$gff_{tot} = 7,02E-05$$

3. Menghitung laju pelepasan

3.1 Menghitung tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} + \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (6.1)$$

Dimana,

$$\begin{aligned} P_{atm} &= 1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi} \\ k &= \frac{C_p}{C_p - R} \end{aligned} \quad (6.2)$$

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$$

A	:	2,63
B	:	0,32
C	:	-1,35
D	:	1,47
T	:	308 °rankine

Maka

$$C_p = 2,63 + 98 + -127906 + 42896364$$

$$\begin{aligned}
&= 4,28\text{E}+07 \text{ J/kmol-K} \\
&= 2,25\text{E}+04 \text{ Btu/kmol-}^\circ\text{R} \\
R &= 1545 \text{ ft-lbf/lb-mol}^\circ\text{R} \\
\text{Dan} \\
k &= \frac{2,25\text{E}+04}{2,25\text{E}+04 - 1545} \\
&= \frac{2,25\text{E}+04}{2,10\text{E}+04} \\
&= 1,07359235
\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
P_{trans} &= 14.504 + \left(\frac{1.0736 + 1}{2} \right)^{\frac{1.0736}{1.0736-1}} \\
&= 17,3 \text{ psi}
\end{aligned}$$

3.2 Menghitung laju pelepasan dengan ketentuan :

a. Apabila tekanan penyimpanan, P_s , lebih besar dari tekanan transisi, P_{trans} , maka laju pelepasan dihitung dengan rumusan 6.3 dibawah ini :

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} x A_n x P_s \sqrt{\left(\frac{k x MW x g_c}{R x T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (6.3)$$

b. Apabila tekanan penyimpanan, P_s , lebih kecil dari tekanan transisi maka dihitung dengan rumusan 6.4 dibawah ini :

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} x A_n x P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]} \quad (6.4)$$

Dengan,

$$P_s = 12,07 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

$$P_{trans} = 17,3 \text{ psi}$$

Dapat disimpulkan bahwa $P_s > P_{trans}$, sehingga laju pelepasan dihitung dengan rumusan 6.3 di atas, yaitu :

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} x A_n x P_s \sqrt{\left(\frac{k x MW x g_c}{R x T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

Dimana,

$$C_d = 0,9$$

$$\begin{aligned}
&= \textit{Discharge coefficient} \text{ untuk aliran gas} \\
&\text{turbulen dari sudut lancip yang bernilai} \\
&\text{antara } 0.85 \leq C_d \leq 1.0 \\
C_2 &= 1 \\
&= \textit{Customary conversion factors}, \text{ dapat} \\
&\text{dilihat pada tabel 8.11 lampiran C.} \\
A_n &= \pi d_n^2 / 4 \\
&= \textit{Release hole size area} \text{ untuk masing-} \\
&\text{masing ukuran lubang pelepasan} \\
A_1 &= 0,05 \text{ inch}^2 \\
A_2 &= 0,79 \text{ inch}^2 \\
A_3 &= 12,6 \text{ inch}^2 \\
A_4 &= 201 \text{ inch}^2 \\
P_s &= 175 \text{ psi} \\
k &= 1,0735923 \\
MW &= 51 \\
&= \text{Molecular Weight} \\
g_c &= 32,2 \text{ lb}_m\text{-ft/lb}_f\text{-s}^2 \\
&= \text{Konstanta gravitasi} \\
R &= 1545 \text{ ft-lbm/lb-mol}^\circ\text{R} \\
&= \text{Konstanta gas} \\
T_s &= 35 \text{ }^\circ\text{C} = 555 \text{ }^\circ\text{Rankine} \\
&= \text{Suhu penyimpanan} \\
&\text{Laju pelepasan untuk masing-masing ukuran lubang} \\
&\text{pelepasan adalah :} \\
W_1 &= 0,35 \text{ lb/s} \\
W_2 &= 5,57 \text{ lb/s} \\
W_3 &= 89,1 \text{ lb/s} \\
W_4 &= 1425 \text{ lb/s}
\end{aligned}$$

4. Mengestimasi fluid inventory yang terlepas

4.1 Menentukan kelompok peralatan dan jenis peralatan

dalam *inventory groups* .

API RBI 581 Annex 3A memberikan asumsi untuk jenis peralatan drum ialah sebesar 50% dari volum total.

4.2 Menghitung massa fluida, $mass_{comp}$, pada peralatan yang dianalisa.

Massa fluida dihitung dengan menggunakan rumusan :

$$Mass_{comp} = \rho \times 50\% \times V \quad (6.5)$$

dengan

$$V = 5000 \text{ m}^3$$

sehingga

$$\begin{aligned} Mass_{comp} &= 33,6 \times 50\% \times 5000 \\ &= 84025 \text{ lbs} \end{aligned}$$

4.3 Menghitung massa fluida pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $mass_{comp,i}$.

TLS memiliki 4 buah *pressure vessel* dengan diameter yang sama. Massa fluida pada masing-masing peralatan sama dengan jumlah massa fluida yang dianalisa, sehingga dapat disimpulkan bahwa :

$$\begin{aligned} mass_{V110} &= mass_{V120} = mass_{V130} = mass_{V140} \\ &= 84025 \text{ lbs} \end{aligned}$$

4.4 Menghitung massa fluida dalam *inventory group* dengan menggunakan rumusan 6.6 di bawah ini :

$$\begin{aligned} \sum mass_{inv} &= \sum_{i=1}^n mass_{comp,i} \quad (6.6) \\ &= Mass_{V110} + Mass_{V120} + \\ &\quad Mass_{V130} + Mass_{V140} \\ &= 84025 + 84025 + \\ &\quad 84025 \\ &= 252075 \text{ lbs} \end{aligned}$$

4.5 Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch), menggunakan rumusan 6.3 atau 6.4 yang

sesuai

$$W_{max8} = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (6.7)$$

dimana,

$$A_n = A_8 = 50,3 \text{ inch}^2$$

sehingga

$$W_{max8} = 357 \text{ lb/s}$$

4.6 Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumusan 6.8 berikut ini :

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}] \quad (6.8)$$

a. Massa fluida tambahan untuk laju pelepasan 1 (W_{n1})

$$mass_{add1} = 180 \times \min[0,35, 357]$$

$$\begin{aligned} mass_{add1} &= 180 \times 0,35 \\ &= 62,6 \text{ lbs} \end{aligned}$$

b. Massa fluida tambahan untuk laju pelepasan 2 (W_{n2})

$$mass_{add2} = 180 \times \min[5,57, 357]$$

$$\begin{aligned} mass_{add2} &= 180 \times 5,57 \\ &= 1002 \text{ lbs} \end{aligned}$$

c. Massa fluida tambahan untuk laju pelepasan 3 (W_{n3})

$$mass_{add3} = 180 \times \min[89,1, 357]$$

$$\begin{aligned} mass_{add3} &= 180 \times 89,1 \\ &= 16029 \text{ lbs} \end{aligned}$$

d. Massa fluida tambahan untuk laju pelepasan 4 (W_{n4})

$$mass_{add4} = 180 \times \min[1425, 357]$$

$$\begin{aligned} mass_{add} &= 180 \times 357 \\ &= 64193,429 \text{ lbs} \end{aligned}$$

4.7 Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 6.9 berikut :

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}] \quad (6.9)$$

a. Massa *available* untuk ukuran lubang ¼ inch

$$mass_{avail1} = \min[(84025 + 62.6), 2520755]$$

$$mass_{avail1} = \min[(84087.614), 252075]$$

$$= 84087,614 \text{ lbs}$$

b. Massa *available* untuk ukuran lubang 1 inch

$$mass_{avail2} = \min[(84025 + 1002), 25207]$$

$$mass_{avail2} = \min[(85026.826), 2520755]$$

$$= 85026,826 \text{ lbs}$$

c. Massa *available* untuk ukuran lubang 4 inch

$$mass_{avail3} = \min[(84025 + 16029), 252075]$$

$$mass_{avail3} = \min[(100054.21), 252075]$$

$$= 100054,21 \text{ lbs}$$

d. Massa *available* untuk ukuran lubang 16 inch

$$mass_{avail4} = \min[(84025 + 64193.43), 252075]$$

$$mass_{avail4} = \min[(148218.43), 252075]$$

$$= 148218,43 \text{ lbs}$$

5. Menentukan tipe pelepasan (*continuous or instantaneous*)

5.1 Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan 4.536 kg [10000 lbs], untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan berikut :

$$t_n = \frac{C_3}{W_n} \quad (6.10)$$

dimana

$$C_3 = 10000$$

= *Customary conversion factors*, dapat dilihat pada tabel 8.11 lampiran C.

W_n = Laju pelepasan untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

a. Waktu yang dibutuhkan pada diameter ¼ inch

$$t_1 = \frac{C_3}{W_1}$$

$$= \frac{10000}{0,3478562}$$

$$= 28747,511 \text{ second}$$

b. Waktu yang dibutuhkan pada diameter 1 inch

$$t_2 = \frac{C_3}{W_2}$$

$$= \frac{10000}{5,5656993}$$

$$= 1796,7194 \text{ second}$$

c. Waktu yang dibutuhkan pada diameter 4 inch

$$t_3 = \frac{C_3}{W_3}$$

$$= \frac{10000}{89,051189}$$

$$= 112,29496 \text{ second}$$

d. Waktu yang dibutuhkan pada diameter 16 inch

$$t_4 = \frac{C_3}{W_4}$$

$$= \frac{10000}{1424,819}$$

$$= 7,0184352 \text{ second}$$

5.2 Menentukan tipe pelepasan, instantaneous atau continuous, menggunakan kriteria dibawah ini :

a. Apabila ukuran lubang pelepasan adalah 6.35 mm [0.25 inch] atau kurang, maka tipe pelepasan adalah continuous.

b. Apabila $t_n \leq 180$ second atau massa yang terlepas lebih dari 4.536 kgs [10000 lbs], maka tipe pelepasan adalah instantaneous; jika tidak, maka continuous.

Tipe pelepasan dipengaruhi oleh besarnya massa fluida yang dapat terlepas, $mass_{avail}$, dan waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan fluida. Perhitungan pada

langkah 5.1 di atas menunjukkan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan fluida, sehingga dari perhitungan diatas dapat disimpulkan :

a. Hasil perhitungan untuk diameter ¼ inch :

$$\text{mass}_{\text{avail}} = 84087,614 \text{ lbs}$$

$$t_n = 28747,511 \text{ scnd}$$

API RBI memberikan ketentuan untuk diameter lubang pelepasan sebesar 0.25 (¼ inch) atau kurang, maka tipe pelepasannya adalah *continuous release* .

b. Hasil perhitungan untuk diameter 1 inch :

$$\text{mass}_{\text{avail}} = 85026,826 \text{ lbs}$$

$$t_n = 1796,7194 \text{ scnd}$$

Tipe pelepasan untuk diameter 1 inch adalah *instantaneous release* .

c. Hasil perhitungan untuk diameter 4 inch :

$$\text{mass}_{\text{avail}} = 100054,21 \text{ lbs}$$

$$t_n = 112,29496 \text{ scnd}$$

Tipe pelepasan untuk diameter 4 inch adalah *instantaneous release* .

d. Hasil perhitungan untuk diameter 16 inch :

$$\text{mass}_{\text{avail}} = 148218,43 \text{ lbs}$$

$$t_n = 7,0184352 \text{ scnd}$$

Tipe pelepasan untuk diameter 16 inch adalah *instataneous release* .

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

6.1 Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis *support* yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve* , *transmitter* , LALL, LAHH, *hand valve* , *check valve* , *fire detector* , dll, yang digunakan untuk

mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

6.2 Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C

Dari penjelasan langkah 1 di atas maka dapat ditentukan klasifikasi sistem deteksi yaitu B.

6.3 Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C.

Berdasarkan penjelasan di langkah 1 dapat ditentukan klasifikasi sistem isolasi ialah B.

6.4 Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan tabel 8.7 lampiran C

Dari tabel 7.7 lampiran C untuk sistem deteksi B dan sistem isolasi B nilai reduction factor, $fact_{di}$, adalah 0.15

6.5 Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, $Id_{max,n}$, menggunakan tabel 8.8 lampiran C.

Dari tabel 8.8 lampiran C dapat disimpulkan :

- Id_{max} untuk ¼ inch : 40 menit
- Id_{max} untuk 1 inch : 30 menit
- Id_{max} untuk 4 inch : 20 menit

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisa konsekuensi

7. 1 Menghitung laju pelepasan, $rate_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Rate_n = Wn (1-fact_{di}) \quad (6.11)$$

Rumusan diatas digunakan untuk menghitung laju pelepasan apabila tipe pelepasannya adalah *continuous release*. Tipe pelepasan *continuous release* dari hasil analisa di atas ialah pada lubang pelepasan ¼ inch.

a. Laju pelepasan untuk diameter ¼ inch adalah

$$\begin{aligned}\text{Rate}_1 &= 0,35 \times (1 - 0,2) \\ &= 0,3 \text{ lb/s}\end{aligned}$$

7.2 Menghitung durasi kebocoran, Id_n , menggunakan rumusan :

$$Id_n = \min\left[\left(\frac{\text{mass}_{\text{avail},n}}{\text{rate}_n}\right), (60 \times Id_{\text{max},n})\right] \quad (6.12)$$

Durasi kebocoran, Id_n , diaplikasikan pada tipe pelepasan *instantaneous release*. Tipe pelepasan *instantaneous release* dari hasil analisa di atas ialah pada lubang pelepasan 1 inch, 4 inch, dan 16 inch. Durasi kebocoran pada masing-masing ukuran lubang pelepasan tersebut ialah :

a. Durasi kebocoran untuk diameter 1 inch

$$\begin{aligned}Id_2 &= \min\left[\left(\frac{85026,826}{4,7308444}\right), (60 \times 30)\right] \\ &= \min[(17972,864 \quad 1800)] \\ &= 1800 \text{ seconds}\end{aligned}$$

b. Durasi kebocoran untuk diameter 4 inch

$$\begin{aligned}Id_3 &= \min\left[\left(\frac{100054,21}{75,693511}\right), (60 \times 20)\right] \\ &= \min[(1321,8334 \quad 1200)] \\ &= 1200 \text{ seconds}\end{aligned}$$

c. Durasi kebocoran untuk diameter 16 inch

API RBI tidak memberikan nilai durasi kebocoran untuk diameter 16 inch.

7.3 Menghitung massa pelepasan, mass_n , untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{Mass}_n = \min[(\text{rate}_n \times Id_n), \text{mass}_{\text{avail},n}] \quad (6.13)$$

Rumusan di atas digunakan untuk menghitung massa pelepasan apabila tipe pelepasan adalah *instantaneous release*. Tipe pelepasan *instantaneous release* dari hasil analisa di atas meliputi diameter lubang pelepasan 1

inch, 4 inch, dan 16 inch.

a. Massa pelepasan untuk diameter 1 inch

$$\begin{aligned} \text{mass}_2 &= \min [8515,52 \quad 85026,83] \\ &= 8515,52 \text{ lbs} \end{aligned}$$

b. Massa pelepasan untuk diameter 4 inch

$$\begin{aligned} \text{mass}_3 &= \min [90832,213 \quad 100054,2] \\ &= 90832,213 \text{ lbs} \end{aligned}$$

c. Massa pelepasan untuk diameter 16 inch

Massa pelepasan untuk diameter 16 inch (*rupture*) diasumsikan sama dengan massa *available* yang dapat terlepas, sehingga :

$$\text{mass}_4 = 148218,43 \text{ lbs}$$

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor*, fact_{mi} , dari tabel 5.10 lampiran C.

Sistem mitigasi yang dimiliki oleh Terminal LPG Semarang ialah sistem pemadam kebakaran dengan monitoring di *control room*. Nilai *consequence area mitigation reduction factor*, fact_{mi} , untuk sistem mitigasi tersebut ialah 0.2

$$\text{fact}_{mi} = 0,2$$

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor*, eneff_n , untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{eneff}_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot \text{Mass}_n] - 15 \quad (6.14)$$

dengan nilai

$$C_4 = 1$$

Persamaan di atas hanya berlaku pada tipe pelepasan *instantaneous release*, sehingga perhitungan dilakukan pada diameter lubang pelepasan 1 inch, 4 inch, dan 16 inch (*rupture*).

a. Nilai e_{eff} untuk diameter 1 inch :

$$\begin{aligned} e_{eff_2} &= 4 \log_{10}[C_4 \cdot Mass_2] - 15 \\ &= 4 \log_{10}[1 \times 8515.52] - 15 \\ &= 4 \log_{10}(8515.52) - 15 \\ &= 4 \times 3,93 - 15 \\ &= 0,72 \end{aligned}$$

b. Nilai e_{eff} untuk diameter 4 inch :

$$\begin{aligned} e_{eff_3} &= 4 \log_{10}[C_4 \cdot Mass_3] - 15 \\ &= 4 \log_{10}[1 \times 100054.21] - 15 \\ &= 4 \log_{10}(100054.21) - 15 \\ &= 4 \times 4,96 - 15 \\ &= 4,83 \end{aligned}$$

c. Nilai e_{eff} untuk diameter 1 inch :

$$\begin{aligned} e_{eff_4} &= 4 \log_{10}[C_4 \cdot Mass_4] - 15 \\ &= 4 \log_{10}[1 \times 148218.43] - 15 \\ &= 4 \log_{10}(148218.43) - 15 \\ &= 4 \times 5,17 - 15 \\ &= 5,68 \end{aligned}$$

8.3. Menentukan tipe fluida, apakah tipe 0 atau tipe 1 dari tabel 5.1

Fluida yang dianalisa pada tugas akhir ini ialah LPG. Fluida LPG memiliki kandungan hidrokarbon butana yang termasuk dalam gugus C_3 . Tipe fluida untuk gugus C_3 berdasarkan tabel 6.1 lampiran B ialah tipe 0.

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Desainya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Not Likely Continuous Release (acc)*

ignition Not Likely, Continuous Release (gas)

ialah :

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-CONT} &= 49,5 \\ b_{cmd}^{AINL-CONT} &= 1 \end{aligned}$$

2) Apabila tipe pelepasan adalah *liquid* dan tipe fluida adalah tipe 0, maka persamaan 6.15 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 6.16 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = \min\{a (rate_n)^b, C_7\} \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (6.15)$$

$$effrate_n^{AINL-CONT} = \frac{1}{C_4} \cdot \exp \left[\log_{10} \left[\frac{CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}}{C_8 \cdot a} \right] \cdot b^{-1} \right] \quad (6.16)$$

Tipe pelepasan pada fluida yang dianalisa ialah gas, sehingga rumusan di atas tidak berlaku.

3) Apabila tipe pelepasan adalah gas atau uap dan tipe fluida adalah tipe 0 atau 1, maka persamaan 6.17 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 6.18 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = a (rate_n)^b \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (6.17)$$

$$effrate_n^{AINL-CONT} = rate_n \quad (6.18)$$

Tipe pelepasan *continuous release* ialah pada lubang kebocoran ¼ inch, sehingga nilai *component damage consequence area* untuk *Auto-ignition Not Likely* adalah :

$$\begin{aligned} CA_{cmd1}^{AINL-CONT} &= 49.5(0.3)^1 \cdot (1 - 0.2) \\ &= 11,7 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Besarnya *effective release rate* untuk *Auto-ignition Not Likely* ialah :

$$effrate_n^{AINL-CONT} = 0,3 \text{ lb/s}$$

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, Auto-ignition Likely, Continuous Release (AIL-

CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Likely*, *Continuous Release* (gas) ialah :

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-CONT} &= 314 \\ b_{cmd}^{AINL-CONT} &= 1 \end{aligned}$$

2) Apabila tipe pelepasan adalah *liquid* dan tipe fluida adalah tipe 0, maka persamaan 6.19 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 6.20 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = \min[\{a (rate_n)^b\}, C_7] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (6.19)$$

$$effrate_n^{AINL-CONT} = \frac{1}{C_4} \cdot \exp \left[\log_{10} \left[\frac{CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}}{C_8 \cdot a} \right] \cdot b^{-1} \right] \quad (6.20)$$

Tipe pelepasan pada fluida yang dianalisa ialah gas, sehingga rumusan di atas tidak berlaku.

3) Apabila tipe pelepasan adalah gas atau uap dan tipe fluida adalah tipe 0 atau 1, maka persamaan 6.21 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 6.22 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = a (rate_n)^b \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (6.21)$$

$$effrate_n^{AINL-CONT} = rate_n \quad (6.22)$$

Tipe pelepasan *continuous release* ialah pada lubang kebocoran ¼ inch, sehingga nilai *component damage consequence area* untuk *Auto-ignition Likely* adalah :

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT} = 313.6(0.3)^1 \cdot (1 - 0.2)$$

$$= 74,2 \text{ ft}^2$$

Besarnya *effective release rate* untuk *Auto-ignition Likely* ialah :

$$effrate_n^{AINL-CONT} = 0,3 \text{ lb/s}$$

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AINL-INST),

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST}$$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (gas) ialah :

$$a_{cmd}^{AINL-INST} = 28$$

$$b_{cmd}^{AINL-INST} = 0,72$$

2) Apabila tipe pelepasan adalah *liquid* dan tipe fluida adalah tipe 0, maka persamaan 6.23 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 6.24 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} = \min[\{a (mass_n)^b\}, C_7] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (6.23)$$

$$effmass_n^{AINL-INST} = \frac{1}{C_4} \cdot \exp \left[\log_{10} \left[\frac{CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}}{C_8 \cdot a} \right] \cdot b^{-1} \right] \quad (6.24)$$

Tipe pelepasan pada fluida yang dianalisa ialah gas, sehingga rumusan di atas tidak berlaku.

3) Apabila tipe pelepasan adalah gas atau uap dan tipe fluida adalah tipe 0 atau 1, maka persamaan 6.25 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 6.26 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} = a(mass_n)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (6.25)$$

$$effmass_n^{AINL-INST} = mass_n \quad (6.26)$$

Tipe pelepasan *instantaneous release* ialah pada lubang pelepasan 1 inch, 4 inch, dan 16 inch. Besarnya *component damage consequence area* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan ialah :

a. Besarnya *component damage consequence area* untuk lubang pelepasan 1 inch :

$$CA_{cmd2}^{AINL-INST} = a(mass_2)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_2} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 4.26 dan didapatkan :

$$mass_2 = 8515,52 \text{ lbs}$$

sehingga,

$$CA_{cmd2}^{AINL-INST} = 27.96(8515.52)^{0.72} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{0.72} \right)$$

$$= 20967,058 \text{ ft}^2$$

b. Besarnya *component damage consequence area* untuk lubang pelepasan 4 inch :

$$CA_{cmd3}^{AINL-INST} = a(mass_3)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_3} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 4.26 dan didapatkan :

$$effmass_3^{AINL-INST} = 90832,21 \text{ lbs}$$

sehingga,

$$CA_{cmd3}^{AINL-INST} = 27.96(90832.213)^{0.72} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{4.83} \right)$$

$$= 17192,804 \text{ ft}^2$$

c. Besarnya *component damage consequence area* untuk lubang pelepasan 16 inch :

$$CA_{cmd4}^{AINL-INST} = a(mass_4)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_4} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 4.26 dan didapatkan :

$$effmass_4^{AIL-INST} = 148218,4 \text{ lbs}$$

sehingga,

$$CA_{cmd4}^{AIL-INST} = 27.96(148218.43)^{0.72} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{5.68}\right)$$

$$= 20799,484 \text{ ft}^2$$

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST), $CA_{cmd,n}^{AIL-INST}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (gas) ialah :

$$a_{cmd}^{AIL-INST} = 522,9$$

$$b_{cmd}^{AIL-INST} = 0,63$$

- 2) Apabila tipe pelepasan adalah *liquid* dan tipe fluida adalah tipe 0, maka persamaan 6.27 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 6.28 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST} = \min[\{a (mass_n)^b\}, C_7] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n}\right) \quad (6.27)$$

$$effmass_n^{AIL-INST} = \frac{1}{C_4} \cdot \exp \left[\log_{10} \left[\frac{CA_{cmd,n}^{AIL-INST}}{C_8 \cdot a} \right] \cdot b^{-1} \right] \quad (6.28)$$

Tipe pelepasan pada fluida yang dianalisa ialah gas, sehingga rumusan di atas tidak berlaku.

- 3) Apabila tipe pelepasan adalah gas atau uap dan tipe fluida adalah tipe 0 atau 1, maka persamaan 6.29 dibawah ini digunakan untuk menghitung

konsekuensi area dan persamaan 6.30 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST} = a(mass_n)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (6.29)$$

$$effmass_n^{AIL-INST} = mass_n \quad (6.30)$$

Tipe pelepasan *instantaneous release* ialah pada lubang pelepasan 1 inch, 4 inch, dan 16 inch. Besarnya *component damage consequence area* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan ialah :

a. Untuk lubang pelepasan 1 inch :

$$CA_{cmd2}^{AIL-INST} = a(mass_2)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_2} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 4.30 dan didapatkan :

$$effmass_2^{AIL-INST} = 8515,52 \text{ lbs}$$

sehingga

$$CA_{cmd2}^{AIL-INST} = 522.9(8515.52)^{0.63} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{0.72} \right)$$

$$= 173660,07 \text{ ft}^2$$

b. Untuk lubang pelepasan 4 inch :

$$CA_{cmd3}^{AIL-INST} = a(mass_3)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_3} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 4.30 dan didapatkan :

$$effmass_3^{AIL-INST} = 90832,21 \text{ lbs}$$

sehingga

$$CA_{cmd3}^{AIL-INST} = 522.9(90832.213)^{0.63} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{4.83} \right)$$

$$= 115076,49 \text{ ft}^2$$

c. Untuk lubang pelepasan 16 inch :

$$CA_{cmd4}^{AIL-INST} = a(mass_4)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_4} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan

rumusan 4.30 dan didapatkan :

$$effmass_4^{AIL-INST} = 148218,4 \text{ lbs}$$

sehingga

$$CA_{cmd4}^{AIL-INST} = 522.9(148218.43)^{0.63} \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{5.68}\right)$$

$$= 133214,91 \text{ ft}^2$$

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{inj,n}^{AINL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (gas) ialah :

$$a_{inj}^{AINL-CONT} = 125,2$$

$$b_{inj}^{AINL-CONT} = 1,00$$

- 2) Menghitung konsekuensi area menggunakan rumusan 6.31 di bawah ini :

$$CA_{inj,n}^{AINL-CONT} = [a (effrate_n^{AINL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (6.31)$$

Nilai *effective release* dihitung menggunakan rumusan 6.18 dan didapatkan :

$$effrate_n^{AINL-CONT} = 0,3 \text{ lbs}$$

Rumusan di atas digunakan untuk menghitung konsekuensi area untuk tipe pelepasan *continuous* (¼ inch), sehingga :

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT} = [125.2 \times (0.3)^1] \cdot (1 - 0.2)$$

$$= 29,6 \text{ ft}^2$$

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely, Continuous Release* (AIL-CONT),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan

tabel 5.7. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Likely*, *Continuous Release* (gas) ialah :

$$\begin{aligned} a_{inj}^{AIL-CONT} &= 836,7 \\ b_{inj}^{AIL-CONT} &= 1 \end{aligned}$$

2) Menghitung konsekuensi area menggunakan rumusan 6.32 di bawah ini :

$$CA_{inj,n}^{AIL-CONT} = [a (effrate_n^{AIL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (6.32)$$

Nilai *effective release* dihitung menggunakan rumusan 6.18 dan didapatkan :

$$effrate_n^{AINL-CONT} = 0,3 \text{ lbs}$$

Rumusan di atas digunakan untuk menghitung konsekuensi area untuk tipe pelepasan *continuous* (¼ inch), sehingga :

$$\begin{aligned} CA_{inj1}^{AIL-CONT} &= [836.7 \times (0.3)^1] \cdot (1 - 0.2) \\ &= 198 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST), $CA_{inj,n}^{AINL-INST}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition No Likely*, *Instantaneous Release* (gas) ialah :

$$\begin{aligned} a_{inj}^{AINL-INST} &= 57,7 \\ b_{inj}^{AINL-INST} &= 0,75 \end{aligned}$$

2) Menghitung konsekuensi area menggunakan rumusan 4.33 di bawah ini :

$$CA_{inj,n}^{AINL-INST} = [a (effrate_n^{AINL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (6.33)$$

Rumusan di atas digunakan untuk menghitung konsekuensi area pada masing-masing ukuran lubang pelepasan, dan di dapatkan :

a. Untuk ukuran lubang 1 inch :

$$CA_{inj2}^{AINL-INST} = \left[a \left(effrate_2^{AINL-INST} \right)^b \right] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_2} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 4.30 dan didapatkan :

$$effrate_2^{AINL-INST} = 8515,52 \text{ lbs}$$

sehingga

$$CA_{inj2}^{AINL-INST} = [57.72 \times (8515.52)^{0.75}] \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{0.72} \right)$$

$$= 56784,916 \text{ ft}^2$$

b. Untuk ukuran lubang 4 inch :

$$CA_{inj3}^{AINL-INST} = \left[a \left(effrate_3^{AINL-INST} \right)^b \right] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_3} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 6.30 dan didapatkan :

$$effrate_3^{AINL-INST} = 90832,21 \text{ lbs}$$

sehingga

$$CA_{inj3}^{AINL-INST} = [57.72 \times (90832.213)^{0.75}] \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{4.83} \right)$$

$$= 49989,992 \text{ ft}^2$$

c. Untuk ukuran lubang 16 inch :

$$CA_{inj4}^{AINL-INST} = \left[a \left(effrate_4^{AINL-INST} \right)^b \right] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_4} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 4.30 dan didapatkan :

$$effrate_4^{AINL-INST} = 148218,4 \text{ lbs}$$

sehingga

$$CA_{inj4}^{AINL-INST} = [57.72 \times (148218.43)^{0.75}] \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{5.68} \right)$$

$$= 61371,789 \text{ ft}^2$$

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (gas) ialah :

$$\begin{aligned} a_{inj}^{AIL-INST} &= 1769 \\ b_{inj}^{AIL-INST} &= 0,63 \end{aligned}$$

2) Menghitung konsekuensi area menggunakan rumusan 6.34 di bawah ini :

$$CA_{inj,n}^{AIL-INST} = [a (effrate_n^{AIL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (6.34)$$

Rumusan di atas digunakan untuk menghitung konsekuensi area pada masing-masing ukuran lubang pelepasan, dan di dapatkan :

a. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj1}^{AIL-INST} = [a (effrate_1^{AIL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_1} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 4.30 dan didapatkan :

$$effrate_2^{AIL-INST} = 8515,52 \text{ lbs}$$

sehingga

$$\begin{aligned} CA_{inj2}^{AIL-INST} &= [1769 \times (8515,52)^{0,63}] \cdot \left(\frac{1 - 0,2}{0,72} \right) \\ &= 587501,74 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

b. Untuk ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-INST} = [a (effrate_2^{AIL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_2} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 4.30 dan didapatkan :

$$effrate_3^{AIL-INST} = 90832,21 \text{ lbs}$$

sehingga

$$CA_{inj3}^{AIL-INST} = [1769 \times (90832.213)^{0.63}] \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{4.83} \right)$$

$$= 389310,21 \text{ ft}^2$$

c. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL-INST} = \left[a (effrate_4^{AIL-INST})^b \right] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_4} \right)$$

Besarnya *effective release rate* dihitung dengan rumusan 6.30 dan didapatkan :

$$effrate_4^{AIL-INST} = 148218,4 \text{ lbs}$$

sehingga

$$CA_{inj4}^{AIL-INST} = [1769 \times (148218.43)^{0.63}] \cdot \left(\frac{1 - 0.2}{5.68} \right)$$

$$= 450673,51 \text{ ft}^2$$

$$= 40560,616 \text{ m}^2$$

8.12. Menghitung *instantaneous /conintinuuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan persamaan 6.34, 6.35, atau 6.36 yang sesuai.

a. Nilai *blending factor* untuk tipe pelepasan *continuous* yang dekat dengan titik transisi *instantaneous* (4.536 kgs [10000 lbs] selama 3 menit, atau laju pelepasan 25.2 kg/s [55.6 lb/s])

$$fact_n^{IC} = \min \left\{ \left\{ \frac{rate_n}{C_5} \right\}, 1.0 \right\} \quad (6.34)$$

b. Nilai *blending factor* *instantaneous* apabila konstanta tidak disediakan dalam tabel 5.8 atau 5.9 maka :

$$fact_n^{IC} = 0.0 \quad (6.35)$$

c. Nilai *blending factor* untuk pelepasan *instantaneous* tidak disediakan, sehingga :

$$fact_n^{IC} = 1.0 \quad (6.36)$$

Nilai-nilai *blending factor* dipilih berdasarkan tipe pelepasan yang sesuai untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, sehingga nilai masing-masing :

1. Ukuran lubang pelepasan ¼ inch

Tipe pelepasan = *Continuous Release*

$$fact_n^{IC} = \min \left[\left\{ \frac{0.3}{55.6} \right\}, 1.0 \right]$$

$$fact_n^{IC} = \min[0.0054, 1.0]$$

$$fact_1^{IC} = 0,0055$$

2. Ukuran lubang pelepasan 1 inch

Tipe pelepasan = *Instantaneous Release*

$$fact_2^{IC} = 1$$

3. Ukuran lubang pelepasan 4 inch

Tipe pelepasan = *Instantaneous Release*

$$fact_3^{IC} = 1$$

4. Ukuran lubang pelepasan 16 inch

Tipe pelepasan = *Instantaneous Release*

$$fact_4^{IC} = 1$$

8.13. Menghitung AIT blending factor menggunakan rumusan 6.37, 6.38, dan 6.39 yang sesuai.

$$fact^{AIT} = 0 \quad (6.37)$$

$$\text{apabila } T_s + C_6 \leq AIT$$

$$fact^{AIT} = \frac{(T_s - AIT + C_6)}{2 \times C_6} \quad (6.38)$$

$$\text{apabila } T_s + C_6 > AIT > T_s - C_6$$

$$fact^{AIT} = 1 \quad (6.39)$$

$$\text{apabila } T_s - C_6 \geq AIT$$

dimana

$$T_s = 555 \text{ } ^\circ\text{Rankine}$$

$$C_6 = 100$$

$$AIT = 1157 \text{ } ^\circ\text{Rankine}$$

$$T_s = 555$$

$$T_s + C_6 = 655$$

$$T_s - C_6 = 455$$

Nilai $T_s + C_6$ ialah sebesar 495°Rankine (di bawah nilai AIT) dan $T_s - C_6$ adalah 395°Rankine (di bawah nilai AIT) sehingga didapatkan nilai AIT *blending factor* :

$$fact^{AIT} = 0$$

8.14. Menghitung *continuous / instantaneous blended consequence area* menggunakan rumusan 6.40 sampai 6.43 berdasarkan konsekuensi area yang sudah dihitung sebelumnya.

$$CA_{cmd,n}^{AIL} = CA_{cmd,n}^{AIL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (6.40)$$

$$CA_{inj,n}^{AIL} = CA_{inj,n}^{AIL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AIL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (6.41)$$

$$CA_{cmd,n}^{AINL} = CA_{cmd,n}^{AINL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (6.42)$$

$$CA_{inj,n}^{AINL} = CA_{inj,n}^{AINL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AINL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (6.43)$$

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*, $CA_{cmd,n}^{AIL}$

a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT} = 74,17964$$

$$fact_1^{IC} = 0,01$$

$$CA_{cmd1}^{AIL-INST} = 0$$

Besarnya CA_{cmd1}^{AIL} ,

$$CA_{cmd1}^{AIL} = 73,8 \text{ ft}^2$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT} = 0$$

$$fact_2^{IC} = 1$$

$$CA_{cmd2}^{AIL-INST} = 173660,1$$

Besarnya CA_{cmd2}^{AIL} ,

$$CA_{cmd2}^{AIL} = 173660,1 \text{ ft}^2$$

c. Untuk ukuran lubang 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL-CONT} = 0$$

$$fact_3^{IC} = 1$$

$$CA_{cmd3}^{AIL-INST} = 115076,5$$

Besarnya CA_{cmd3}^{AIL} ,

$$CA_{cmd3}^{AIL} = 115076,5 \text{ ft}^2$$

d. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL-CONT} = 0$$

$$fact_4^{IC} = 1$$

$$CA_{cmd4}^{AIL-INST} = 133214,9$$

Besarnya CA_{cmd4}^{AIL} ,

$$CA_{cmd4}^{AIL} = 133214,9 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*, CA_{inj1}^{AIL}

a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT} = 198$$

$$fact_1^{IC} = 0,01$$

$$CA_{inj1}^{AIL-INST} = 0$$

Besarnya CA_{inj1}^{AIL} ,

$$CA_{inj1}^{AIL} = 197 \text{ ft}^2$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT} = 0$$

$$fact_2^{IC} = 1$$

$$CA_{inj2}^{AIL-INST} = 587501,7$$

Besarnya CA_{inj2}^{AIL} ,

$$CA_{inj2}^{AIL} = 587501,7 \text{ ft}^2$$

c. Untuk ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-CONT} = 0$$

$$fact_3^{IC} = 1$$

$$CA_{inj3}^{AIL-INST} = 389310,2$$

Besarnya CA_{inj3}^{AIL} ,

$$CA_{inj3}^{AIL} = 389310,2 \text{ ft}^2$$

d. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL-CONT} = 0$$

$$fact_4^{IC} = 1$$

$$CA_{inj4}^{AIL-INST} = 450673,5$$

$$\begin{aligned} \text{Besarnya } CA_{inj4}^{AINL} &= 450673,5 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*, $CA_{cmd,n}^{AINL}$

a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT} = 11,7$$

$$fact_1^{IC} = 0,01$$

$$CA_{cmd1}^{AINL-INST} = 0$$

Besarnya CA_{cmd1}^{AINL} ,

$$CA_{cmd1}^{AINL} = 11,6 \text{ ft}^2$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT} = 0$$

$$fact_2^{IC} = 1$$

$$CA_{cmd2}^{AINL-INST} = 20967,06$$

Besarnya CA_{cmd2}^{AINL} ,

$$CA_{cmd2}^{AINL} = 20967,06 \text{ ft}^2$$

c. Untuk ukuran lubang 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL-CONT} = 0$$

$$fact_3^{IC} = 1$$

$$CA_{cmd3}^{AINL-INST} = 17192,8$$

Besarnya CA_{cmd3}^{AINL} ,

$$CA_{cmd3}^{AINL} = 17192,8 \text{ ft}^2$$

d. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AINL-CONT} = 0$$

$$fact_4^{IC} = 1$$

$$CA_{cmd4}^{AINL-INST} = 20799,48$$

Besarnya CA_{cmd4}^{AINL} ,

$$CA_{cmd4}^{AINL} = 20799,48 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*, $CA_{inj,n}^{AINL}$

a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT} = 29,6$$

$$fact_1^{IC} = 0,01$$

$$CA_{inj1}^{AINL-INST} = 0$$

Besarnya CA_{inj1}^{AINL} ,

$$CA_{inj1}^{AINL} = 29,5 \text{ ft}^2$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-CONT} = 0$$

$$fact_2^{IC} = 1$$

$$CA_{inj2}^{AINL-INST} = 56784,92$$

Besarnya CA_{inj2}^{AINL} ,

$$CA_{inj2}^{AINL} = 56784,92 \text{ ft}^2$$

c. Untuk ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{AINL-CONT} = 0$$

$$fact_3^{IC} = 1$$

$$CA_{inj3}^{AINL-INST} = 49989,99$$

Besarnya CA_{inj3}^{AINL} ,

$$CA_{inj3}^{AINL} = 49989,99 \text{ ft}^2$$

d. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AINL-CONT} = 0$$

$$fact_4^{IC} = 1$$

$$CA_{inj4}^{AINL-INST} = 61371,79$$

Besarnya CA_{inj4}^{AINL} ,

$$CA_{inj4}^{AINL} = 61371,79 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area akibat kerusakan komponen menggunakan rumusan 6.45 dan untuk cedera personel dengan menggunakan rumusan 6.46 di bawah ini.

$$CA_{cmd,n}^{flam} = CA_{cmd,n}^{AIL} \times fact^{AIT} + CA_{cmd,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (6.45)$$

$$CA_{inj,n}^{flam} = CA_{inj,n}^{flam-AIL} \times fact^{AIT} + CA_{inj,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (6.46)$$

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL} = 73,8$$

$$fact^{AIT} = 0$$

$$CA_{cmd1}^{AINL} = 11,6$$

sehingga

$$CA_{cmd1}^{flam} = 11,6 \text{ ft}^2$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL} = 173660,1$$

$$fact^{AIT} = 0$$

$$CA_{cmd2}^{AINL} = 20967,06$$

sehingga

$$CA_{cmd2}^{flam} = 20967,06$$

c. Untuk ukuran lubang 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL} = 115076,5$$

$$fact^{AIT} = 0$$

$$CA_{cmd3}^{AINL} = 17192,8$$

sehingga

$$CA_{cmd3}^{flam} = 17192,8$$

d. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL} = 133214,9$$

$$fact^{AIT} = 0$$

$$CA_{cmd4}^{AINL} = 20799,48$$

sehingga

$$CA_{cmd4}^{flam} = 20799,48$$

2. Menghitung *AIT blended consequence area for personel injury*,

a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam-AIL} = 197$$

$$fact^{AIT} = 0$$

$$CA_{inj1}^{AINL} = 29,5$$

sehingga

$$CA_{inj1}^{flam} = 29,5 \text{ ft}^2$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam-AIL} = 587501,7$$

$$fact^{AIT} = 0$$

.....

$$CA_{inj2}^{AINL} = 56784,92$$

sehingga

$$CA_{inj2}^{flam} = 56784,92$$

c. Untuk ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{flam-AIL} = 389310,2$$

$$fact_{AIT} = 0$$

$$CA_{inj3}^{AINL} = 49989,99$$

sehingga

$$CA_{inj3}^{flam} = 49989,99$$

d. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{flam-AIL} = 450673,5$$

$$fact_{AIT} = 0$$

$$CA_{inj4}^{AINL} = 61371,79$$

sehingga

$$CA_{inj4}^{flam} = 61371,79$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personil menggunakan rumusan 6.47 dan 6.48 berikut ini.

$$CA_{cmd}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times CA_{cmd,n}^{flam}}{gff_{total}} \right) \quad (6.47)$$

$$CA_{inj}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times CA_{inj,n}^{flam}}{gff_{total}} \right) \quad (6.48)$$

Perhitungan konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen pada masing-masing ukuran lubang pelepasan. Nilai frekuensi kegagalan generik dapat dilihat pada tabel ... lampiran B. Perhitungan ini dilakukan pada ukuran lubang yang memiliki peluang kebocoran paling besar, yaitu ¼ inch.

1. Pehitungan besarnya konsekuensi area untuk *component damage* yaitu :

$$CA_{cmd1}^{flam} = 11,6 \quad ft^2$$

$$CA_{cmd2}^{flam} = 20967,058 \text{ ft}^2$$

$$CA_{cmd3}^{flam} = 17192,804 \text{ ft}^2$$

$$CA_{cmd4}^{flam} = 20799,484 \text{ ft}^2$$

$$gff1 = 8,00E-06$$

$$gff2 = 2,00E-07$$

$$gff3 = 2,00E-06$$

$$gff4 = 6,00E-05$$

$$gff_{total} = 3,06E-05$$

sehingga

$$CA_{cmd}^{flam} = 42047,097 \text{ ft}^2$$

2. Pehitungan besarnya konsekuensi area untuk *personel injury* yaitu :

$$CA_{inj1}^{flam} = 29,5$$

$$CA_{inj2}^{flam} = 56784,916$$

$$CA_{inj3}^{flam} = 49989,992$$

$$CA_{inj4}^{flam} = 61371,789$$

$$gff1 = 8,00E-06$$

$$gff2 = 2,00E-07$$

$$gff3 = 2,00E-06$$

$$gff4 = 6,00E-05$$


$$gff_{total} = 3,06E-05$$

sehingga

$$CA_{inj}^{flam} = 123983 \text{ ft}^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$\begin{aligned} CA &= \max [CA_{cmd} , CA_{inj}] \\ &= \max [42047,097 , 123983] \\ &= 123983 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 - V120	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

539 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

33.61 °F

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

696 °F

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release

Gas

Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.

Final phase

Gas

Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small

d₁ : 0.25 inch

Range of hole diameter is 0 - ¼ inch

Medium

d₂ : 1 inch

Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch

Large

d₃ : 4 inch

Range of hole diameter is 2 - 6 inch

Rupture

d₄ : 16 inch

Range of hole diameter is > 6 inch

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small

gff₁ : 8E-06

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Medium

gff₂ : 2E-07

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Large

gff₃ : 2E-06

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Rupture

gff₄ : 6E-05

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Total

gff_{total} : 7.02E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/(k-1)}$$

$$P_{trans} = 14.504 + \left(\frac{1.0736 + 1}{2} \right)^{\frac{1.0736}{1.0736-1}}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

- Cd : Koefisien lubang pelepasan
- : 0.9 (lihat tabel .. Lampiran C)
- C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)
- : 12
- An : Luas area untuk masing-masing nth
- : $\pi d_n^2/4$
- A₁ : 0.05 m²
- A₂ : 0.79 m²
- A₃ : 12.6 m²
- A₄ : 201 m²
- k : Perbandingan kapasitas panas
- : 1.0735923
- MW : Molecular Weight
- : 51
- gc : Konstanta gravitasi
- : 32.2 lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas
 : 1545 ft-lbm/lb-mol^oR
 Ts : Suhu penyimpanan
 : 35 °C = 555 °Rankine

Besarnya laju pelepasan pada masing-masing ukuran lubang pelepasan adalah :

a. Ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$W_1 = \frac{0.9}{1} \times 0.05 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₁ = 0.35 lb/s

b. Ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$W_2 = \frac{0.9}{1} \times 0.79 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₂ = 5.57 lb/s

c. Ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$W_3 = \frac{0.9}{1} \times 12.6 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₃ = 89.1 lb/s

d. Ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$W_4 = \frac{0.9}{1} \times 201 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₄ = 1425 lb/s

4. Estimasi *fluid inventory* yang dapat terlepas

4.1. Menghitung massa fluida

$$\text{Mass}_{\text{comp}} = \rho \times V$$

dimana

$$V = 50\% V_{\text{TOTAL}}$$

$$= 50\% \times 5000$$

Mass_{comp} = 33.6 x 50% x 5000

= 84025 lbs

4.2. Menghitung massa pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam fluid inventory group, $Mass_{comp,i}$

$$mass_{v110} = mass_{v120} = mass_{v130} = mass_{v140}$$

$$Mass_{comp,i} = 84025 \text{ lbs}$$

4.3. Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\sum mass_{inv} = \sum_{i=1}^n mass_{comp,i}$$

$$Mass_{inv} = 3 \times 84025 = 252075 \text{ lbs}$$

4.4. Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

$$A_n = 50.3 \text{ inch}^2$$

$$W_{max8} = \frac{C_d}{C_2} \times A_8 \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times gc}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

$$W_8 = 357 \text{ lb/s}$$

4.5. Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

a. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$Mass_{add1} = 62.6 \text{ lbs}$$

b. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$Mass_{add2} = 1002 \text{ lbs}$$

c. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$Mass_{add3} = 16029 \text{ lbs}$$

d. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$Mass_{add4} = 64193.429 \text{ lbs}$$

4.6. Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*)

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

a. *Available mass* pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\text{Mass}_{\text{avail1}} = 84087.614 \text{ lbs}$$

b. *Available mass* pada lubang pelepasan 1 inch

$$\text{Mass}_{\text{avail2}} = 85026.826 \text{ lbs}$$

c. *Available mass* pada lubang pelepasan 4 inch

$$\text{Mass}_{\text{avail3}} = 100054.21 \text{ lbs}$$

d. *Available mass* pada lubang pelepasan 16 inch

$$\text{Mass}_{\text{avail4}} = 148218.43 \text{ lbs}$$

5. Penentuan tipe pelepasan (*continuous* atau *instantaneous*)

a. Apabila ukuran lubang pelepasan adalah 6.35 mm [0.25 inch] atau kurang, maka tipe pelepasan adalah *continuous*.

b. Apabila $t_n \leq 180$ second atau massa yang terlepas lebih dari 4.536 kgs [10000 lbs], maka tipe pelepasan adalah *instantaneous*; jika tidak, maka *continuous*.

Rumusan untuk menghitung besarnya waktu :

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

1) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan ¼ inch

$$t_1 = 28747.511 \text{ scnd}$$

$$\text{Mass} = 84087.614 \text{ lbs}$$

$$\text{Type} = \textit{Continuous Release}$$

2) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 1 inch

$$t_2 = 1796.7194 \text{ scnd}$$

$$\text{Mass} = 85026.826 \text{ lbs}$$

$$\text{Type} = \textit{Instantaneous Release}$$

3) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 4 inch

$$t_3 = 112.29496 \text{ scnd}$$

$$\text{Mass} = 100054.21 \text{ lbs}$$

$$\text{Type} = \textit{Instantaneous Release}$$

4) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 16 inch

$$t_4 = 7.0184352 \text{ scnd}$$

Mass	=	148218.43 lbs
Type	=	Instantaneous Release

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

Detection systems	B
Isolation systems	B
fact_{di}	0.15
Id_{max1}	40 mnts
Id_{max2}	30 mnts
Id_{max3}	20 mnts
Id_{max4}	Not available

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisis konsekuensi

7.1. Menghitung laju pelepasan (Rate_n)

$$Rate_n = W_n (1 - fact_{di})$$

Rate₁	0.296 lb/s
Rate₂	Omitted
Rate₃	Omitted
Rate₄	Omitted

7.2. Menghitung durasi kebocoran, Id_n

$$Id_n = \min\left[\left(\frac{mass_{avail,n}}{rate_n}\right), (60 \times Id_{max,n})\right]$$

Id₁	Omitted
Id₂	1800 scnd
Id₃	1200 scnd
Id₄	Not Available

7.3. Menghitung masa pelepasan (Mass_n)

$$Mass_n = \min [(rate_n \times Id_n), mass_{avail,n}]$$

Mass₁	Omitted
Mass₂	8515.52

Mass₃

90832.213

Mass₄

148218.43

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor* , fact_{mi}

fact_{mi} 0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor* , eneff_n

$$\text{eneff}_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot \text{Mass}_n] - 15$$

dimana

$$C_4 = 1$$

eneff₁

Omitted

eneff₂

0.72

eneff₃

4.83

eneff₄

5.68

8.3. Menentukan tipe fluida

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely* , *Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AINL-CONT} = 49.5$$

$$b_{cmd}^{AINL-CONT} = 1$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$11.7 \text{ ft}^2$$

$$0.296 \text{ lb/s}$$

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-CONT} = 314$$

$$b_{cmd}^{AIL-CONT} = 1$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition not likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$74.18 \text{ ft}^2$$

$$0.296 \text{ lb/s}$$

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release* (AINL-INST),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-INST} &= 28 \\ b_{cmd}^{AINL-INST} &= 0.72 \end{aligned}$$

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, instantaneous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} \quad \text{Omitted}$$

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, instantaneous release* untuk fluida gas.

- a) Pada ukuran lubang ¼ inch Omitted

- b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd2}^{AINL-INST} &= 20967.058 \text{ ft}^2 \\ effmass_2^{AINL-INST} &= 8515.51997 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd3}^{AINL-INST} &= 17192.8041 \text{ ft}^2 \\ effmass_3^{AINL-INST} &= 90832.2131 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd4}^{AINL-INST} &= 20799.4841 \text{ ft}^2 \\ effmass_4^{AINL-INST} &= 148218.429 \text{ lbs} \end{aligned}$$

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-INST} = 522.9$$

$$b_{cmd}^{AINL-INST} = 0.63$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *instantaneous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-INST}$$

173660.067 ft²

$$effmass_2^{AIL-INST}$$

8515.51997 lbs

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL-INST}$$

115076.488 ft²

$$effmass_3^{AIL-INST}$$

90832.2131 lbs

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL-INST}$$

133214.911 ft²

$$effmass_4^{AIL-INST}$$

148218.429 lbs

d.d. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT)

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-CONT} = 125.2$$

$$b_{inj}^{AINL-CONT} = 1.00$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury*, *auto-ignition not likely*, *continuous release* untuk fluida gas

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT}$$

29.62 ft²

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

0.296 lb/s

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-CONT} = 836.7$$

$$b_{inj}^{AIL-CONT} = 1$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition likely , continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$197.9 \text{ ft}^2$$

$$0.296 \text{ lb/s}$$

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely , Instantaneous Release* (AIL-INST),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-INST} = 57.7$$

$$b_{inj}^{AINL-INST} = 0.75$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition not likely , instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

Omitted

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-INST}$$

$$effmass_2^{AINL-INST}$$

$$56784.9158 \text{ ft}^2$$

$$8515.51997 \text{ lbs}$$

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-INST}$$

$$49989.9921 \text{ ft}^2$$

$$effmass_3^{AINL-INST} \quad 90832.2131 \text{ lbs}$$

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AINL-INST} \quad 61371.7891 \text{ ft}^2$$

$$effmass_4^{AINL-INST} \quad 148218.429 \text{ lbs}$$

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Instantaneous Release* (AIL-INST),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-INST} = 1769$$

$$b_{inj}^{AIL-INST} = 0.63$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition likely , instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch Omitted

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-INST} \quad 587501.738 \text{ ft}^2$$

$$effmass_2^{AIL-INST} \quad 8515.51997 \text{ lbs}$$

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-INST} \quad 389310.208 \text{ ft}^2$$

$$effmass_3^{AIL-INST} \quad 90832.2131 \text{ lbs}$$

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL-INST} \quad 450673.508 \text{ ft}^2$$

$$effmass_4^{AIL-INST} \quad 148218.429 \text{ lbs}$$

8.12. Menghitung *instantaneous /conintinuuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC} \quad 0.0055$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC} \quad 1$$

c. Pada lubang pelepasan 4 inch

$$fact_3^{IC} \quad 1$$

d. Pada lubang pelepasan 16 inch

$$fact_4^{IC}$$

1

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT}$$

0

8.14. Menghitung *continuous instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL}$$

73.77 ft²

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL}$$

173660 ft²

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL}$$

115076.488 ft²

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL}$$

133214.911 ft²

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL}$$

196.8 ft²

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL}$$

587502 ft²

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL}$$

389310 ft²

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL}$$

450673.508 ft²

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

11.64 ft²

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$20967 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$17193 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AINL}$$

$$20799.4841 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.45 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$56785 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$49990 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{AINL}$$

$$61371.7891 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam}$$

$$11.64 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam}$$

$$20967 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{flam}$$

$$17193 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{flam}$$

$$20799.4841 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam}$$

$$29.45 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam} \quad 56785 \quad ft^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{flam} \quad 49990 \quad ft^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{flam} \quad 61371.7891 \quad ft^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage


$$CA_{cmd}^{flam} \quad 42047.0974 \quad ft^2$$

2. Consequence Area for Personnel Injury

$$CA_{inj}^{flam} \quad 123983.004 \quad ft^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$CA \quad 123983.004 \quad ft^2$$

	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 - V130	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

539 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

33.61 °F

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

696 °F

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release

Gas

Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.

Final phase

Gas

Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small

d₁ : 0.25 inch

Range of hole diameter is 0 - ¼ inch

Medium

d₂ : 1 inch

Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch

Large

d₃ : 4 inch

Range of hole diameter is 2 - 6 inch

Rupture

d₄ : 16 inch

Range of hole diameter is > 6 inch

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small

gff₁ : 8E-06

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Medium

gff₂ : 2E-07

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Large

gff₃ : 2E-06

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Rupture

gff₄ : 6E-05

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Total

gff_{total} : 7.02E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/(k-1)}$$

$$P_{trans} = 14.504 + \left(\frac{1.0736 + 1}{2} \right)^{\frac{1.0736}{1.0736-1}}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

- Cd : Koefisien lubang pelepasan
- : 0.9 (lihat tabel .. Lampiran C)
- C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)
- : 12
- An : Luas area untuk masing-masing nth
- : $\pi d_n^2 / 4$
- A₁ : 0.05 m²
- A₂ : 0.79 m²
- A₃ : 12.6 m²
- A₄ : 201 m²
- k : Perbandingan kapasitas panas
- : 1.0735923
- MW : Molecular Weight
- : 51
- gc : Konstanta gravitasi
- : 32.2 lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas
 : 1545 ft-lbm/lb-mol^{°R}
 Ts : Suhu penyimpanan
 : 35 °C = 555 °Rankine

Besarnya laju pelepasan pada masing-masing ukuran lubang pelepasan adalah :

a. Ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$W_1 = \frac{0.9}{1} \times 0.05 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₁ = 0.35 lb/s

b. Ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$W_2 = \frac{0.9}{1} \times 0.79 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₂ = 5.57 lb/s

c. Ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$W_3 = \frac{0.9}{1} \times 12.6 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₃ = 89.1 lb/s

d. Ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$W_4 = \frac{0.9}{1} \times 201 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₄ = 1425 lb/s

4. Estimasi *fluid inventory* yang dapat terlepas

4.1. Menghitung massa fluida

$$\text{Mass}_{\text{comp}} = \rho \times V$$

dimana

$$V = 50\% V_{\text{TOTAL}}$$

$$= 50\% \times 5000$$

Mass_{comp} = 33.6 x 50% x 5000

= 84025 lbs

4.2. Menghitung massa pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam fluid inventory group, $Mass_{comp,i}$

$$mass_{v110} = mass_{v120} = mass_{v130} = mass_{v140}$$

$$Mass_{comp,i} = 84025 \text{ lbs}$$

4.3. Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\sum mass_{inv} = \sum_{i=1}^n mass_{comp,i}$$

$$Mass_{inv} = 3 \times 84025 = 252075 \text{ lbs}$$

4.4. Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

$$A_n = 50.3 \text{ inch}^2$$

$$W_{max8} = \frac{C_d}{C_2} \times A_8 \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times gc}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

$$W_8 = 357 \text{ lb/s}$$

4.5. Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

a. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$Mass_{add1} = 62.6 \text{ lbs}$$

b. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$Mass_{add2} = 1002 \text{ lbs}$$

c. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$Mass_{add3} = 16029 \text{ lbs}$$

d. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$Mass_{add4} = 64193.429 \text{ lbs}$$

4.6. Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*)

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

a. *Available mass* pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\text{Mass}_{\text{avail1}} = 84087.614 \text{ lbs}$$

b. *Available mass* pada lubang pelepasan 1 inch

$$\text{Mass}_{\text{avail2}} = 85026.826 \text{ lbs}$$

c. *Available mass* pada lubang pelepasan 4 inch

$$\text{Mass}_{\text{avail3}} = 100054.21 \text{ lbs}$$

d. *Available mass* pada lubang pelepasan 16 inch

$$\text{Mass}_{\text{avail4}} = 148218.43 \text{ lbs}$$

5. Penentuan tipe pelepasan (*continuous* atau *instantaneous*)

a. Apabila ukuran lubang pelepasan adalah 6.35 mm [0.25 inch] atau kurang, maka tipe pelepasan adalah *continuous*.

b. Apabila $t_n \leq 180$ second atau massa yang terlepas lebih dari 4.536 kgs [10000 lbs], maka tipe pelepasan adalah *instantaneous*; jika tidak, maka *continuous*.

Rumusan untuk menghitung besarnya waktu :

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

1) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan ¼ inch

$$t_1 = 28747.511 \text{ scnd}$$

$$\text{Mass} = 84087.614 \text{ lbs}$$

$$\text{Type} = \textit{Continuous Release}$$

2) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 1 inch

$$t_2 = 1796.7194 \text{ scnd}$$

$$\text{Mass} = 85026.826 \text{ lbs}$$

$$\text{Type} = \textit{Instantaneous Release}$$

3) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 4 inch

$$t_3 = 112.29496 \text{ scnd}$$

$$\text{Mass} = 100054.21 \text{ lbs}$$

$$\text{Type} = \textit{Instantaneous Release}$$

4) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 16 inch

$$t_4 = 7.0184352 \text{ scnd}$$

Mass	=	148218.43 lbs
Type	=	Instantaneous Release

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

Detection systems	B
Isolation systems	B
fact_{di}	0.15
Id_{max1}	40 mnts
Id_{max2}	30 mnts
Id_{max3}	20 mnts
Id_{max4}	Not available

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisis konsekuensi

7.1. Menghitung laju pelepasan (Rate_n)

$$\text{Rate}_n = W_n (1 - \text{fact}_{di})$$

Rate₁	0.296 lb/s
Rate₂	Omitted
Rate₃	Omitted
Rate₄	Omitted

7.2. Menghitung durasi kebocoran, Id_n

$$Id_n = \min\left[\left(\frac{\text{mass}_{\text{avail},n}}{\text{rate}_n}\right), (60 \times Id_{\text{max},n})\right]$$

Id₁	Omitted
Id₂	1800 scnd
Id₃	1200 scnd
Id₄	Not Available

7.3. Menghitung masa pelepasan (Mass_n)

$$\text{Mass}_n = \min [(\text{rate}_n \times Id_n), \text{mass}_{\text{avail},n}]$$

Mass₁	Omitted
Mass₂	8515.52

Mass₃

90832.213

Mass₄

148218.43

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor* , fact_{mi}

fact_{mi} 0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor* , eneff_n

$$\text{eneff}_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot \text{Mass}_n] - 15$$

dimana

$$C_4 = 1$$

eneff₁

Omitted

eneff₂

0.72

eneff₃

4.83

eneff₄

5.68

8.3. Menentukan tipe fluida

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely* , *Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-CONT} &= 49.5 \\ b_{cmd}^{AINL-CONT} &= 1 \end{aligned}$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$11.7 \text{ ft}^2$$

$$0.296 \text{ lb/s}$$

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-CONT} = 314$$

$$b_{cmd}^{AIL-CONT} = 1$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition not likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$74.18 \text{ ft}^2$$

$$0.296 \text{ lb/s}$$

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release* (AINL-INST),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-INST} &= 28 \\ b_{cmd}^{AINL-INST} &= 0.72 \end{aligned}$$

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, instantaneous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} \quad \text{Omitted}$$

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, instantaneous release* untuk fluida gas.

- a) Pada ukuran lubang ¼ inch Omitted

- b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd2}^{AINL-INST} &= 20967.058 \text{ ft}^2 \\ effmass_2^{AINL-INST} &= 8515.51997 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd3}^{AINL-INST} &= 17192.8041 \text{ ft}^2 \\ effmass_3^{AINL-INST} &= 90832.2131 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd4}^{AINL-INST} &= 20799.4841 \text{ ft}^2 \\ effmass_4^{AINL-INST} &= 148218.429 \text{ lbs} \end{aligned}$$

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-INST} = 522.9$$

$$b_{cmd}^{AINL-INST} = 0.63$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *instantaneous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-INST}$$

173660.067 ft²

$$effmass_2^{AIL-INST}$$

8515.51997 lbs

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL-INST}$$

115076.488 ft²

$$effmass_3^{AIL-INST}$$

90832.2131 lbs

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL-INST}$$

133214.911 ft²

$$effmass_4^{AIL-INST}$$

148218.429 lbs

d.d. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT)

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-CONT} = 125.2$$

$$b_{inj}^{AINL-CONT} = 1.00$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury*, *auto-ignition not likely*, *continuous release* untuk fluida gas

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT}$$

29.62 ft²

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

0.296 lb/s

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Continuous Release (AIL-CONT)*,

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-CONT} = 836.7$$

$$b_{inj}^{AIL-CONT} = 1$$

- 2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition likely , continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$197.9 \text{ ft}^2$$

$$0.296 \text{ lb/s}$$

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely , Instantaneous Release (AIL-INST)*

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-INST} = 57.7$$

$$b_{inj}^{AINL-INST} = 0.75$$

- 2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition not likely , instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

Omitted

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-INST}$$

$$effmass_2^{AINL-INST}$$

$$56784.9158 \text{ ft}^2$$

$$8515.51997 \text{ lbs}$$

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-INST}$$

$$49989.9921 \text{ ft}^2$$

$$effmass_3^{AINL-INST} \quad 90832.2131 \text{ lbs}$$

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AINL-INST} \quad 61371.7891 \text{ ft}^2$$

$$effmass_4^{AINL-INST} \quad 148218.429 \text{ lbs}$$

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Instantaneous Release* (AIL-INST),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-INST} = 1769$$

$$b_{inj}^{AIL-INST} = 0.63$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition likely , instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch Omitted

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-INST} \quad 587501.738 \text{ ft}^2$$

$$effmass_2^{AIL-INST} \quad 8515.51997 \text{ lbs}$$

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-INST} \quad 389310.208 \text{ ft}^2$$

$$effmass_3^{AIL-INST} \quad 90832.2131 \text{ lbs}$$

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL-INST} \quad 450673.508 \text{ ft}^2$$

$$effmass_4^{AIL-INST} \quad 148218.429 \text{ lbs}$$

8.12. Menghitung *instantaneous /continuos blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC} \quad 0.0055$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC} \quad 1$$

c. Pada lubang pelepasan 4 inch

$$fact_3^{IC} \quad 1$$

d. Pada lubang pelepasan 16 inch

$$fact_4^{IC}$$

1

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT}$$

0

8.14. Menghitung *continuous instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL}$$

73.77 ft²

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL}$$

173660 ft²

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL}$$

115076.488 ft²

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL}$$

133214.911 ft²

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL}$$

196.8 ft²

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL}$$

587502 ft²

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL}$$

389310 ft²

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL}$$

450673.508 ft²

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

11.64 ft²

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$20967 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$17193 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AINL}$$

$$20799.4841 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.45 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$56785 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$49990 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{AINL}$$

$$61371.7891 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam}$$

$$11.64 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam}$$

$$20967 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{flam}$$

$$17193 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{flam}$$

$$20799.4841 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam}$$

$$29.45 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam} \quad 56785 \quad ft^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{flam} \quad 49990 \quad ft^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{flam} \quad 61371.7891 \quad ft^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage


$$CA_{cmd}^{flam} \quad 42047.0974 \quad ft^2$$

2. Consequence Area for Personnel Injury

$$CA_{inj}^{flam} \quad 123983.004 \quad ft^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$CA \quad 123983.004 \quad ft^2$$

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 - V140	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

539 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

33.61 °F

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

696 °F

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release

Gas

Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.

Final phase

Gas

Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small

d₁ : 0.25 inch

Range of hole diameter is 0 - ¼ inch

Medium

d₂ : 1 inch

Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch

Large

d₃ : 4 inch

Range of hole diameter is 2 - 6 inch

Rupture

d₄ : 16 inch

Range of hole diameter is > 6 inch

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small

gff₁ : 8E-06

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Medium

gff₂ : 2E-07

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Large

gff₃ : 2E-06

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Rupture

gff₄ : 6E-05

Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.

Total

gff_{total} : 7.02E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/(k-1)}$$

$$P_{trans} = 14.504 + \left(\frac{1.0736 + 1}{2} \right)^{\frac{1.0736}{1.0736-1}}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

- Cd : Koefisien lubang pelepasan
- : 0.9 (lihat tabel .. Lampiran C)
- C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)
- : 12
- An : Luas area untuk masing-masing nth
- : $\pi d_n^2/4$
- A₁ : 0.05 m²
- A₂ : 0.79 m²
- A₃ : 12.6 m²
- A₄ : 201 m²
- k : Perbandingan kapasitas panas
- : 1.0735923
- MW : Molecular Weight
- : 51
- gc : Konstanta gravitasi
- : 32.2 lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas
 : 1545 ft-lbm/lb-mol^{°R}
 Ts : Suhu penyimpanan
 : 35 °C = 555 °Rankine

Besarnya laju pelepasan pada masing-masing ukuran lubang pelepasan adalah :

a. Ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$W_1 = \frac{0.9}{1} \times 0.05 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₁ = 0.35 lb/s

b. Ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$W_2 = \frac{0.9}{1} \times 0.79 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₂ = 5.57 lb/s

c. Ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$W_3 = \frac{0.9}{1} \times 12.6 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₃ = 89.1 lb/s

d. Ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$W_4 = \frac{0.9}{1} \times 201 \times 175 \sqrt{\left(\frac{1.0735 \times 51 \times 32.2}{1545 \times 555} \right) \left(\frac{2}{1.0735 + 1} \right)^{\frac{1.0735+1}{1.0735-1}}}$$

W₄ = 1425 lb/s

4. Estimasi *fluid inventory* yang dapat terlepas

4.1. Menghitung massa fluida

$$\text{Mass}_{\text{comp}} = \rho \times V$$

dimana

$$V = 50\% V_{\text{TOTAL}}$$

$$= 50\% \times 5000$$

Mass_{comp} = 33.6 x 50% x 5000

= 84025 lbs

4.2. Menghitung massa pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam fluid inventory group, $Mass_{comp,i}$

$$mass_{v110} = mass_{v120} = mass_{v130} = mass_{v140}$$

$$Mass_{comp,i} = 84025 \text{ lbs}$$

4.3. Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\sum mass_{inv} = \sum_{i=1}^n mass_{comp,i}$$

$$Mass_{inv} = 3 \times 84025 = 252075 \text{ lbs}$$

4.4. Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

$$A_n = 50.3 \text{ inch}^2$$

$$W_{max8} = \frac{C_d}{C_2} \times A_8 \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times gc}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

$$W_8 = 357 \text{ lb/s}$$

4.5. Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

a. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$Mass_{add1} = 62.6 \text{ lbs}$$

b. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$Mass_{add2} = 1002 \text{ lbs}$$

c. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$Mass_{add3} = 16029 \text{ lbs}$$

d. Masa tambahan pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$Mass_{add4} = 64193.429 \text{ lbs}$$

4.6. Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*)

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

a. *Available mass* pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\text{Mass}_{\text{avail1}} = 84087.614 \text{ lbs}$$

b. *Available mass* pada lubang pelepasan 1 inch

$$\text{Mass}_{\text{avail2}} = 85026.826 \text{ lbs}$$

c. *Available mass* pada lubang pelepasan 4 inch

$$\text{Mass}_{\text{avail3}} = 100054.21 \text{ lbs}$$

d. *Available mass* pada lubang pelepasan 16 inch

$$\text{Mass}_{\text{avail4}} = 148218.43 \text{ lbs}$$

5. Penentuan tipe pelepasan (*continuous* atau *instantaneous*)

a. Apabila ukuran lubang pelepasan adalah 6.35 mm [0.25 inch] atau kurang, maka tipe pelepasan adalah *continuous*.

b. Apabila $t_n \leq 180$ second atau massa yang terlepas lebih dari 4.536 kgs [10000 lbs], maka tipe pelepasan adalah *instantaneous*; jika tidak, maka *continuous*.

Rumusan untuk menghitung besarnya waktu :

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

1) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{aligned} t_1 &= 28747.511 \text{ scnd} \\ \text{Mass} &= 84087.614 \text{ lbs} \\ \text{Type} &= \textit{Continuous Release} \end{aligned}$$

2) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{aligned} t_2 &= 1796.7194 \text{ scnd} \\ \text{Mass} &= 85026.826 \text{ lbs} \\ \text{Type} &= \textit{Instantaneous Release} \end{aligned}$$

3) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 4 inch

$$\begin{aligned} t_3 &= 112.29496 \text{ scnd} \\ \text{Mass} &= 100054.21 \text{ lbs} \\ \text{Type} &= \textit{Instantaneous Release} \end{aligned}$$

4) Tipe pelepasan pada lubang pelepasan 16 inch

$$t_4 = 7.0184352 \text{ scnd}$$

Mass	=	148218.43 lbs
Type	=	Instantaneous Release

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

Detection systems	B
Isolation systems	B
fact_{di}	0.15
Id_{max1}	40 mnts
Id_{max2}	30 mnts
Id_{max3}	20 mnts
Id_{max4}	Not available

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisis konsekuensi

7.1. Menghitung laju pelepasan (Rate_n)

$$Rate_n = W_n (1 - fact_{di})$$

Rate₁	0.296 lb/s
Rate₂	Omitted
Rate₃	Omitted
Rate₄	Omitted

7.2. Menghitung durasi kebocoran, Id_n

$$Id_n = \min\left[\left(\frac{mass_{avail,n}}{rate_n}\right), (60 \times Id_{max,n})\right]$$

Id₁	Omitted
Id₂	1800 scnd
Id₃	1200 scnd
Id₄	Not Available

7.3. Menghitung masa pelepasan (Mass_n)

$$Mass_n = \min [(rate_n \times Id_n), mass_{avail,n}]$$

Mass₁	Omitted
Mass₂	8515.52

Mass₃

90832.213

Mass₄

148218.43

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor* , fact_{mi}

fact_{mi} 0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor* , eneff_n

$$\text{eneff}_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot \text{Mass}_n] - 15$$

dimana

$$C_4 = 1$$

eneff₁

Omitted

eneff₂

0.72

eneff₃

4.83

eneff₄

5.68

8.3. Menentukan tipe fluida

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely* , *Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-CONT} &= 49.5 \\ b_{cmd}^{AINL-CONT} &= 1 \end{aligned}$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$11.7 \text{ ft}^2$$

$$0.296 \text{ lb/s}$$

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-CONT} = 314$$

$$b_{cmd}^{AIL-CONT} = 1$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition not likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$74.18 \text{ ft}^2$$

$$0.296 \text{ lb/s}$$

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release* (AINL-INST),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-INST} &= 28 \\ b_{cmd}^{AINL-INST} &= 0.72 \end{aligned}$$

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, instantaneous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} \quad \text{Omitted}$$

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, instantaneous release* untuk fluida gas.

- a) Pada ukuran lubang ¼ inch Omitted

- b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd2}^{AINL-INST} &= 20967.058 \text{ ft}^2 \\ effmass_2^{AINL-INST} &= 8515.51997 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd3}^{AINL-INST} &= 17192.8041 \text{ ft}^2 \\ effmass_3^{AINL-INST} &= 90832.2131 \text{ lbs} \end{aligned}$$

- d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd4}^{AINL-INST} &= 20799.4841 \text{ ft}^2 \\ effmass_4^{AINL-INST} &= 148218.429 \text{ lbs} \end{aligned}$$

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-INST} = 522.9$$

$$b_{cmd}^{AINL-INST} = 0.63$$

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *instantaneous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-INST}$$

173660.067 ft²

$$effmass_2^{AIL-INST}$$

8515.51997 lbs

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL-INST}$$

115076.488 ft²

$$effmass_3^{AIL-INST}$$

90832.2131 lbs

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL-INST}$$

133214.911 ft²

$$effmass_4^{AIL-INST}$$

148218.429 lbs

d.d. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT)

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-CONT} = 125.2$$

$$b_{inj}^{AINL-CONT} = 1.00$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury*, *auto-ignition not likely*, *continuous release* untuk fluida gas

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT}$$

29.62 ft²

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

0.296 lb/s

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Continuous Release* (AIL-CONT),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-CONT} = 836.7$$

$$b_{inj}^{AIL-CONT} = 1$$

- 2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition likely , continuous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT}$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$197.9 \text{ ft}^2$$

$$0.296 \text{ lb/s}$$

b) Pada ukuran lubang 1 inch

Omitted

c) Pada ukuran lubang 4 inch

Omitted

d) Pada ukuran lubang 16 inch

Omitted

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely , Instantaneous Release* (AIL-INST),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-INST} = 57.7$$

$$b_{inj}^{AINL-INST} = 0.75$$

- 2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition not likely , instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch

Omitted

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-INST}$$

$$effmass_2^{AINL-INST}$$

$$56784.9158 \text{ ft}^2$$

$$8515.51997 \text{ lbs}$$

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-INST}$$

$$49989.9921 \text{ ft}^2$$

$$effmass_3^{AINL-INST} \quad 90832.2131 \text{ lbs}$$

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AINL-INST} \quad 61371.7891 \text{ ft}^2$$

$$effmass_4^{AINL-INST} \quad 148218.429 \text{ lbs}$$

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Instantaneous Release (AIL-INST)*,

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-INST} = 1769$$

$$b_{inj}^{AIL-INST} = 0.63$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury , auto-ignition likely , instantaneous release* untuk fluida gas.

a) Pada ukuran lubang ¼ inch Omitted

b) Pada ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-INST} \quad 587501.738 \text{ ft}^2$$

$$effmass_2^{AIL-INST} \quad 8515.51997 \text{ lbs}$$

c) Pada ukuran lubang 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-INST} \quad 389310.208 \text{ ft}^2$$

$$effmass_3^{AIL-INST} \quad 90832.2131 \text{ lbs}$$

d) Pada ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL-INST} \quad 450673.508 \text{ ft}^2$$

$$effmass_4^{AIL-INST} \quad 148218.429 \text{ lbs}$$

8.12. Menghitung *instantaneous /conintinuuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC} \quad 0.0055$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC} \quad 1$$

c. Pada lubang pelepasan 4 inch

$$fact_3^{IC} \quad 1$$

d. Pada lubang pelepasan 16 inch

$$fact_4^{IC}$$

1

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT}$$

0

8.14. Menghitung *continuous instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL}$$

73.77 ft²

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL}$$

173660 ft²

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL}$$

115076.488 ft²

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AIL}$$

133214.911 ft²

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL}$$

196.8 ft²

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL}$$

587502 ft²

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AIL}$$

389310 ft²

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{AIL}$$

450673.508 ft²

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

11.64 ft²

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$20967 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$17193 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{AINL}$$

$$20799.4841 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.45 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$56785 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$49990 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{AINL}$$

$$61371.7891 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam}$$

$$11.64 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam}$$

$$20967 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{cmd3}^{flam}$$

$$17193 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{cmd4}^{flam}$$

$$20799.4841 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam}$$

$$29.45 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam} = 56785 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 4 inch

$$CA_{inj3}^{flam} = 49990 \text{ ft}^2$$

d. Pada ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$CA_{inj4}^{flam} = 61371.7891 \text{ ft}^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage

$$CA_{cmd}^{flam} = 42047.0974 \text{ ft}^2$$

2. Consequence Area for Personnel Injury

$$CA_{inj}^{flam} = 123983.004 \text{ ft}^2$$


8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$CA = 123983.004 \text{ ft}^2$$


LAMPIRAN E

Detail Perhitungan Resiko

Pressure Vessels

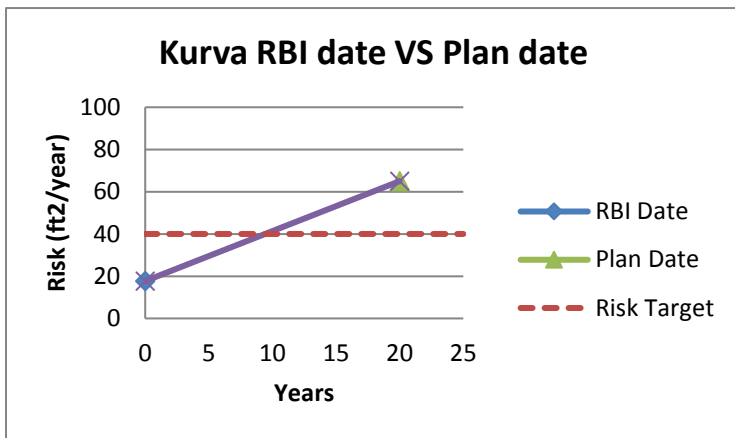
	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 - V110

1. Damage factor total at RBI date	
D_f	6
2. Damage factor total at plan date	
D_f	22
3. Total generic failure frequency for KO-Drum	
g_{ff}	0.0000306
4. Total Factor Management System	
F_{MS}	0.779
5. Probability of Failure at RBI date	
PoF	0.0001430
6. Probability of Failure at plan date	
PoF	0.000524
7. Total consequence area for equipment damage	
CA_{cmd}	42087.654
8. Total consequence area for personel injury	
CA_{inj}	123983.004
9. Final consequence area	
CA	123983.004
10. Risk at RBI date	
Risk	17.73259476
11. Risk at Plan date	
Risk	65.01951411
11. Risk Target	
Risk	40

	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 - V110

1. Menghitung *target inspection date*

Target date didapatkan dari perpotongan kurva resiko pada RBI *date* dengan kurva *risk target*.



Data	Date	Age	Risk
RBI Date	22/02/2016	0	17.732595
Risk Target	?	?	40
Plan Date	22/02/2026	20	65.019514

Usia *risk target* dapat dihitung dengan cara melakukan interpolasi nilai di atas.

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{y - 0}{20 - 0} = \frac{40 - 17.732}{65.019 - 17.732}$$

$$\begin{aligned}\frac{y - 0}{20} &= \frac{22.2674}{47.2869} \\ y &= 9.4179979 \\ \text{Target date} &= 9.42 \text{ tahun setelah RBI date} \\ &= 22/06/2025\end{aligned}$$

2. Menghitung *damage factor* pada *target date*

Damage factor didapatkan dengan cara interpolasi data berikut ini.

Data	DF	Risk
RBI Date	6	17.732595
Risk Target	?	40
Plan Date	22	65.019514

$$\begin{aligned}\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{y - 6}{22 - 6} &= \frac{40 - 17.732}{65.019 - 17.732} \\ \frac{y - 2}{16} &= \frac{22.26740524}{47.28691935} \\ y - 2 &= 7.5343983 \\ y &= 13.5\end{aligned}$$

Damage factor pada *target date* = 13.5

3. Menghitung *damage factor* yang baru

	RBI date	Target date	Plan date
D_f^{thin}	5	?	20
D_f^{extd}	1	?	2
D_f^{total}	6	13.5	22

3.1. Menghitung *thinning damage factor* yang baru

Kategori *damage factor* yang baru didapatkan dengan cara menghitung selisih *damage factor* pada RBI date dengan *plan date*.

$$\begin{aligned} Df &= 20 - 5 \\ &= 15 \end{aligned}$$

Kategori *damage factor* yang baru yaitu 2B.

Thinning inspection effectiveness pada *plan date* :

$$2C + 2B = 3B$$

Nilai Art pada *plan date* = 0.19

Art Df (3B)

0.18	3	$\frac{y - y1}{y2 - y1}$	=	$\frac{x - x1}{x2 - x1}$
0.19	?	$\frac{y - 3}{5 - 3}$	=	$\frac{0.19 - 0.18}{0.20 - 0.18}$
0.2	5	$\frac{y - 3}{2}$	=	$\frac{0.01}{0.02}$
		$y - 3$	=	1
		y	=	4

$$D_f^{\text{thin}} = 4$$

3.2. Menghitung *external damage factor* yang baru

Kategori *damage factor* yang baru didapatkan dengan cara menghitung selisih *damage factor* pada RBI date dengan *plan date*.

$$\begin{aligned} Df &= 2 - 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

Kategori *damage factor* yang baru yaitu 2B.

Thinning inspection effectiveness pada *plan date* :

$$2C + 2B = 3B$$

Nilai Art pada *plan date* = 0.12

$$D_f^{\text{extd}} = 1$$

3.3. Menghitung *damage factor total* pada *plan date*


$$\begin{aligned}D_f^{\text{total}} &= D_f^{\text{thin}} + D_f^{\text{extd}} \\&= 4 + 1 \\&= 5\end{aligned}$$

4. Menghitung resiko pada *plan date* setelah dilakukan inspeksi

$$\begin{aligned}\text{gff} &: 0.0000306 \\ \text{FMS} &: 0.779 \\ \text{DF} &: 5 \\ \text{PoF} &: 0.0001192 \\ \text{CoF} &: 123983 \\ \text{Risk} &: 14.777162 \text{ ft}^2/\text{year}\end{aligned}$$

5. Menghitung *remaining life*

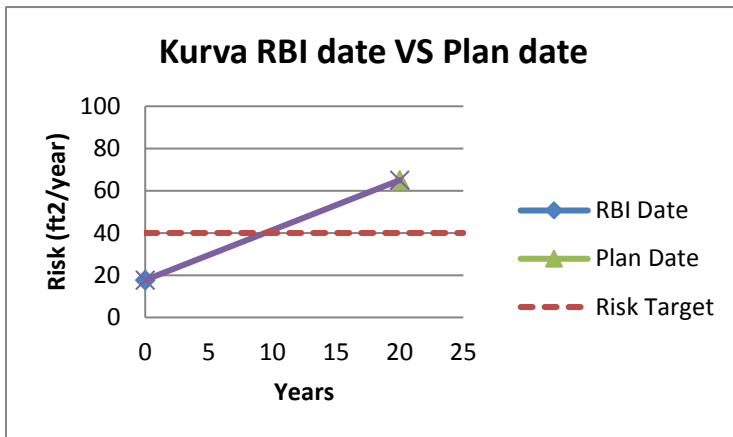
$$\begin{aligned}\text{Remaining life} &= \frac{t_{\text{act}} - t_{\text{rd}}}{\text{CR}} \\&= \frac{59.7 - 53.7}{0.54} \\&= 11.1 \text{ years}\end{aligned}$$

	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 - V120

1. Damage factor total at RBI date	
D_f	6
2. Damage factor total at plan date	
D_f	22
3. Total generic failure frequency for KO-Drum	
g_{ff}	0.0000306
4. Total Factor Management System	
F_{MS}	0.779
5. Probability of Failure at RBI date	
PoF	0.0001430
6. Probability of Failure at plan date	
PoF	0.000524
7. Total consequence area for equipment damage	
CA_{cmd}	42087.654
8. Total consequence area for personel injury	
CA_{inj}	123983.004
9. Final consequence area	
CA	123983.004
10. Risk at RBI date	
Risk	17.73259476
11. Risk at Plan date	
Risk	65.01951411
11. Risk Target	
Risk	40

1. Menghitung *target inspection date*

Target date didapatkan dari perpotongan kurva resiko pada RBI *date* dengan kurva *risk target*.



Data	Date	Age	Risk
RBI Date	22/02/2016	0	17.732595
Risk Target	?	?	40
Plan Date	22/02/2026	20	65.019514

Usia *risk target* dapat dihitung dengan cara melakukan interpolasi nilai di atas.

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{y - 0}{20 - 0} = \frac{40 - 17.732}{65.019 - 17.732}$$

$$\begin{aligned}\frac{y - 0}{20} &= \frac{22.2674}{47.2869} \\ y &= 9.4179979 \\ \text{Target date} &= 9.42 \text{ tahun setelah RBI date} \\ &= 22/06/2025\end{aligned}$$

2. Menghitung *damage factor* pada *target date*

Damage factor didapatkan dengan cara interpolasi data berikut ini.

Data	DF	Risk
RBI Date	6	17.732595
Risk Target	?	40
Plan Date	22	65.019514

$$\begin{aligned}\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{y - 6}{22 - 6} &= \frac{40 - 17.732}{65.019 - 17.732} \\ \frac{y - 2}{16} &= \frac{22.26740524}{47.28691935} \\ y - 2 &= 7.5343983 \\ y &= 13.5\end{aligned}$$

Damage factor pada *target date* = 13.5

3. Menghitung *damage factor* yang baru

	RBI date	Target date	Plan date
D_f^{thin}	5	?	20
D_f^{extd}	1	?	2
D_f^{total}	6	13.5	22

3.1. Menghitung *thinning damage factor* yang baru

Kategori *damage factor* yang baru didapatkan dengan cara menghitung selisih *damage factor* pada RBI date dengan *plan date*.

$$\begin{aligned} Df &= 20 - 5 \\ &= 15 \end{aligned}$$

Kategori *damage factor* yang baru yaitu 2B.

Thinning inspection effectiveness pada *plan date* :

$$2C + 2B = 3B$$

Nilai Art pada *plan date* = 0.19

Art Df (3B)

0.18	3	$\frac{y - y1}{y2 - y1}$	=	$\frac{x - x1}{x2 - x1}$
0.19	?	$\frac{y - 3}{5 - 3}$	=	$\frac{0.19 - 0.18}{0.20 - 0.18}$
0.2	5	$\frac{y - 3}{2}$	=	$\frac{0.01}{0.02}$
		$y - 3$	=	1
		y	=	4

$$D_f^{\text{thin}} = 4$$

3.2. Menghitung *external damage factor* yang baru

Kategori *damage factor* yang baru didapatkan dengan cara menghitung selisih *damage factor* pada RBI date dengan *plan date*.

$$\begin{aligned} Df &= 2 - 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

Kategori *damage factor* yang baru yaitu 2B.

Thinning inspection effectiveness pada *plan date* :

$$2C + 2B = 3B$$

Nilai Art pada *plan date* = 0.12

$$D_f^{\text{extd}} = 1$$

3.3. Menghitung *damage factor total* pada *plan date*


$$\begin{aligned}D_f^{\text{total}} &= D_f^{\text{thin}} + D_f^{\text{extd}} \\&= 4 + 1 \\&= 5\end{aligned}$$

4. Menghitung resiko pada *plan date* setelah dilakukan inspeksi

$$\begin{aligned}\text{gff} &: 0.0000306 \\ \text{FMS} &: 0.779 \\ \text{DF} &: 5 \\ \text{PoF} &: 0.0001192 \\ \text{CoF} &: 123983 \\ \text{Risk} &: 14.777162 \text{ ft}^2/\text{year}\end{aligned}$$

5. Menghitung *remaining life*

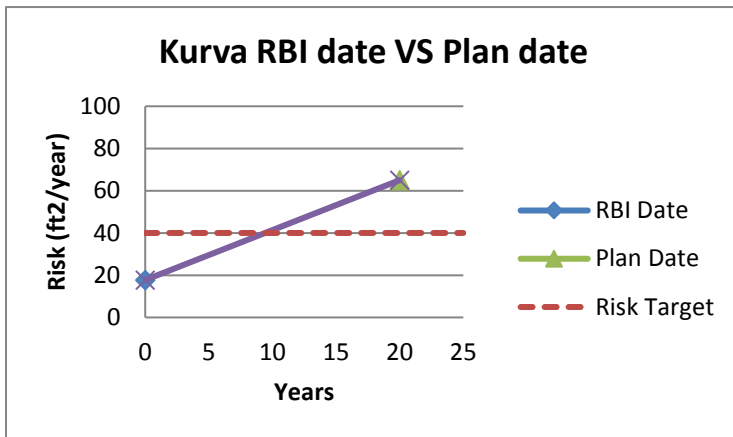
$$\begin{aligned}\text{Remaining life} &= \frac{t_{\text{act}} - t_{\text{rd}}}{\text{CR}} \\&= \frac{59.7 - 53.7}{0.54} \\&= 11.1 \text{ years}\end{aligned}$$

	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 - V130

1. Damage factor total at RBI date	
D_f	6
2. Damage factor total at plan date	
D_f	22
3. Total generic failure frequency for KO-Drum	
g_{ff}	0.0000306
4. Total Factor Management System	
F_{MS}	0.779
5. Probability of Failure at RBI date	
PoF	0.0001430
6. Probability of Failure at plan date	
PoF	0.000524
7. Total consequence area for equipment damage	
CA_{cmd}	42087.654
8. Total consequence area for personel injury	
CA_{inj}	123983.004
9. Final consequence area	
CA	123983.004
10. Risk at RBI date	
Risk	17.73259476
11. Risk at Plan date	
Risk	65.01951411
11. Risk Target	
Risk	40

1. Menghitung *target inspection date*

Target date didapatkan dari perpotongan kurva resiko pada RBI *date* dengan kurva *risk target*.



Data	Date	Age	Risk
RBI Date	22/02/2016	0	17.732595
Risk Target	?	?	40
Plan Date	22/02/2026	20	65.019514

Usia *risk target* dapat dihitung dengan cara melakukan interpolasi nilai di atas.

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{y - 0}{20 - 0} = \frac{40 - 17.732}{65.019 - 17.732}$$

$$\begin{aligned}\frac{y - 0}{20} &= \frac{22.2674}{47.2869} \\ y &= 9.4179979 \\ \text{Target date} &= 9.42 \text{ tahun setelah RBI date} \\ &= 22/06/2025\end{aligned}$$

2. Menghitung *damage factor* pada *target date*

Damage factor didapatkan dengan cara interpolasi data berikut ini.

Data	DF	Risk
RBI Date	6	17.732595
Risk Target	?	40
Plan Date	22	65.019514

$$\begin{aligned}\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{y - 6}{22 - 6} &= \frac{40 - 17.732}{65.019 - 17.732} \\ \frac{y - 2}{16} &= \frac{22.26740524}{47.28691935} \\ y - 2 &= 7.5343983 \\ y &= 13.5\end{aligned}$$

Damage factor pada *target date* = 13.5

3. Menghitung *damage factor* yang baru

	RBI date	Target date	Plan date
D_f^{thin}	5	?	20
D_f^{extd}	1	?	2
D_f^{total}	6	13.5	22

3.1. Menghitung *thinning damage factor* yang baru

Kategori *damage factor* yang baru didapatkan dengan cara menghitung selisih *damage factor* pada RBI date dengan *plan date*.

$$\begin{aligned} Df &= 20 - 5 \\ &= 15 \end{aligned}$$

Kategori *damage factor* yang baru yaitu 2B.

Thinning inspection effectiveness pada *plan date* :

$$2C + 2B = 3B$$

Nilai Art pada *plan date* = 0.19

Art Df (3B)

0.18	3	$\frac{y - y1}{y2 - y1}$	=	$\frac{x - x1}{x2 - x1}$
0.19	?	$\frac{y - 3}{5 - 3}$	=	$\frac{0.19 - 0.18}{0.20 - 0.18}$
0.2	5	$\frac{y - 3}{2}$	=	$\frac{0.01}{0.02}$
		$y - 3$	=	1
		y	=	4

$$D_f^{\text{thin}} = 4$$

3.2. Menghitung *external damage factor* yang baru

Kategori *damage factor* yang baru didapatkan dengan cara menghitung selisih *damage factor* pada RBI date dengan *plan date*.

$$\begin{aligned} Df &= 2 - 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

Kategori *damage factor* yang baru yaitu 2B.

Thinning inspection effectiveness pada *plan date* :

$$2C + 2B = 3B$$

Nilai Art pada *plan date* = 0.12

$$D_f^{\text{extd}} = 1$$

3.3. Menghitung *damage factor total* pada *plan date*


$$\begin{aligned}D_f^{\text{total}} &= D_f^{\text{thin}} + D_f^{\text{extd}} \\&= 4 + 1 \\&= 5\end{aligned}$$

4. Menghitung resiko pada *plan date* setelah dilakukan inspeksi


$$\begin{aligned}\text{gff} &: 0.0000306 \\ \text{FMS} &: 0.779 \\ \text{DF} &: 5 \\ \text{PoF} &: 0.0001192 \\ \text{CoF} &: 123983 \\ \text{Risk} &: 14.777162 \text{ ft}^2/\text{year}\end{aligned}$$

5. Menghitung *remaining life*

$$\begin{aligned}\text{Remaining life} &= \frac{t_{\text{act}} - t_{\text{rd}}}{\text{CR}} \\&= \frac{59.7 - 53.7}{0.54} \\&= 11.1 \text{ years}\end{aligned}$$

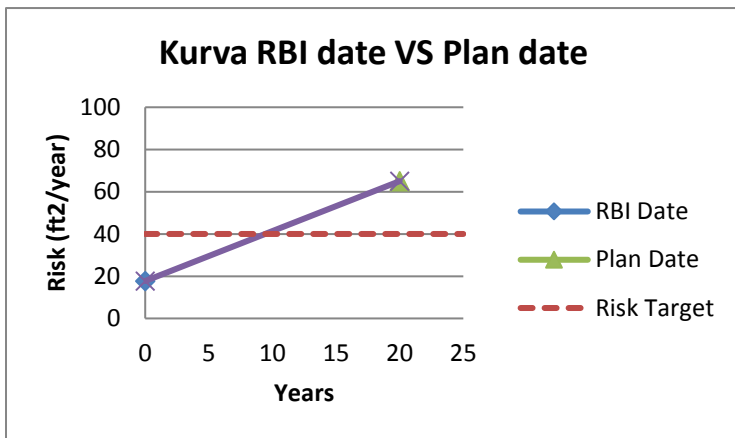
	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 - V140

1. Damage factor total at RBI date	
D_f	6
2. Damage factor total at plan date	
D_f	22
3. Total generic failure frequency for KO-Drum	
g_{ff}	0.0000306
4. Total Factor Management System	
F_{MS}	0.779
5. Probability of Failure at RBI date	
PoF	0.0001430
6. Probability of Failure at plan date	
PoF	0.000524
7. Total consequence area for equipment damage	
CA_{cmd}	42087.654
8. Total consequence area for personel injury	
CA_{inj}	123983.004
9. Final consequence area	
CA	123983.004
10. Risk at RBI date	
Risk	17.73259476
11. Risk at Plan date	
Risk	65.01951411
11. Risk Target	
Risk	40

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 - V140

1. Menghitung *target inspection date*

Target date didapatkan dari perpotongan kurva resiko pada RBI *date* dengan kurva *risk target*.



Data	Date	Age	Risk
RBI Date	22/02/2016	0	17.732595
Risk Target	?	?	40
Plan Date	22/02/2026	20	65.019514

Usia *risk target* dapat dihitung dengan cara melakukan interpolasi nilai di atas.

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{y - 0}{20 - 0} = \frac{40 - 17.732}{65.019 - 17.732}$$

$$\begin{aligned}\frac{y - 0}{20} &= \frac{22.2674}{47.2869} \\ y &= 9.4179979 \\ \text{Target date} &= 9.42 \text{ tahun setelah RBI date} \\ &= 22/06/2025\end{aligned}$$

2. Menghitung *damage factor* pada *target date*

Damage factor didapatkan dengan cara interpolasi data berikut ini.

Data	DF	Risk
RBI Date	6	17.732595
Risk Target	?	40
Plan Date	22	65.019514

$$\begin{aligned}\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{y - 6}{22 - 6} &= \frac{40 - 17.732}{65.019 - 17.732} \\ \frac{y - 2}{16} &= \frac{22.26740524}{47.28691935} \\ y - 2 &= 7.5343983 \\ y &= 13.5\end{aligned}$$

Damage factor pada *target date* = 13.5

3. Menghitung *damage factor* yang baru

	RBI date	Target date	Plan date
D_f^{thin}	5	?	20
D_f^{extd}	1	?	2
D_f^{total}	6	13.5	22

3.1. Menghitung *thinning damage factor* yang baru

Kategori *damage factor* yang baru didapatkan dengan cara menghitung selisih *damage factor* pada RBI date dengan *plan date*.

$$\begin{aligned} Df &= 20 - 5 \\ &= 15 \end{aligned}$$

Kategori *damage factor* yang baru yaitu 2B.

Thinning inspection effectiveness pada *plan date* :

$$2C + 2B = 3B$$

Nilai Art pada *plan date* = 0.19

Art Df (3B)

0.18	3	$\frac{y - y1}{y2 - y1}$	=	$\frac{x - x1}{x2 - x1}$
0.19	?	$\frac{y - 3}{5 - 3}$	=	$\frac{0.19 - 0.18}{0.20 - 0.18}$
0.2	5	$\frac{y - 3}{2}$	=	$\frac{0.01}{0.02}$
		$y - 3$	=	1
		y	=	4

$$D_f^{\text{thin}} = 4$$

3.2. Menghitung *external damage factor* yang baru

Kategori *damage factor* yang baru didapatkan dengan cara menghitung selisih *damage factor* pada RBI date dengan *plan date*.

$$\begin{aligned} Df &= 2 - 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

Kategori *damage factor* yang baru yaitu 2B.

Thinning inspection effectiveness pada *plan date* :

$$2C + 2B = 3B$$

Nilai Art pada *plan date* = 0.12

$$D_f^{\text{extd}} = 1$$

3.3. Menghitung *damage factor total* pada *plan date*

$$\begin{aligned}D_f^{\text{total}} &= D_f^{\text{thin}} + D_f^{\text{extd}} \\&= 4 + 1 \\&= 5\end{aligned}$$

4. Menghitung resiko pada *plan date* setelah dilakukan inspeksi

$$\begin{aligned}\text{gff} &: 0.0000306 \\ \text{FMS} &: 0.779 \\ \text{DF} &: 5 \\ \text{PoF} &: 0.0001192 \\ \text{CoF} &: 123983 \\ \text{Risk} &: 14.777162 \text{ ft}^2/\text{year}\end{aligned}$$


5. Menghitung *remaining life*

$$\begin{aligned}\text{Remaining life} &= \frac{t_{\text{act}} - t_{\text{rd}}}{\text{CR}} \\&= \frac{59.7 - 53.7}{0.54} \\&= 11.1 \text{ years}\end{aligned}$$

LAMPIRAN F

Detail Perhitungan Probabilitas Kegagalan

Piping Systems

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pipe 2 inch - V110	Date	:	
		Rev.	:	

1. Base damage factor for pipeline failure, D_{fb}^{PF}

One

$$D_{fb}^{PF} = 50$$

Pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan.

2. Base damage factor for audible shaking, D_{fb}^{AS}

Severe

$$D_{fb}^{AS} = 500$$

Terdapat/terasa getaran pada pipa, cabang, kelengkapan pipa, atau pendukung pipa. Getaran sangat terasa pada saat pipa dipegang.

3. Adjustment factor for audible shaking, F_{fb}^{AS}

Shaking less than 2 weeks

$$F_{fb}^{AS} = 1$$

Interval getaran yang terjadi pada pipa yang dianalisa ialah setiap hari atau pada saat pengoperasian pipa, baik pengisian fluida ke dalam tangki maupun penyaluran fluida dari tangki.

4. Cyclic loading type, D_{fb}^{CF}

Reciprocating Machinery

$$D_{fb}^{CF} = 50$$

Getaran yang terjadi pada pipa disebabkan karena adanya pompa.

5. Base damage factor for piping, D_{fb}^{mfat}

$$\begin{aligned}
 D_{fb}^{mfat} &= \max[D_{fb}^{PF}, (D_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), D_{fb}^{CF}] \\
 &= \max[50, (500, 1), 50] \\
 &= 500
 \end{aligned}$$

6. Adjustment factors for damage

6.1. Adjustment for Corrective Action, F_{CA} = 0.002

Terminal LPG Semarang pernah melakukan modifikasi

pada sistem perpipaan. Modifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan analisa yang telah dikerjakan oleh departemen engineering, maintenance, dan safety.

6.2. *Adjustment for Pipe Complexity,*
 F_{PC}
=
1

Fitting pada pipa dapat berupa T-joint, valves, elbows, dll. Jumlah fittings pada pipa yang dianalisa ialah sebanyak 6 fittings.

6.3. *Adjustment for Condition of Pipe,*
 F_{CP}
=
1

Pipa yang dianalisa memiliki kondisi support yang masih cukup baik, hal ini dikarenakan telah dilakukan penggantian support pipa baru.

6.4. *Adjustment for Joint Type or Branch Design,*
=
2

Tipe sambungan yang dipasang pada pipa ialah tipe *saddle on*.

6.5. *Adjustment for Branch Diameter,*
 F_{BD}
=
0.02

Pipa 8 inch memiliki thickness yang lebih besar dari 2 NPS.

7. Final base damage factor, D_{fb}^{mfat}

$$D_{fb}^{mfat} = D_{fb}^{mfat} \times \frac{F_{CA}}{F_{JB}} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{BD}$$

$$= 500 \times 0.002 \times 1 \times 1 \times 0.02$$

$$= 0.04$$

8. Probability of Failure

PoF
=
g_{ff}
x
F_{MS}
x
D_F

dimana

G_{ff}
0.0000306

Generic failure frequency


FMS
0.779

Factor Management Systems

DF
0.04

Damage Factor
Sehingga
PoF

9.535E-07

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pipe 2 inch - V120	Date	:	
		Rev.	:	

1. Base damage factor for pipeline failure, D_{fb}^{PF}

One

$$D_{fb}^{PF} = 50$$

Pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan.

2. Base damage factor for audible shaking, D_{fb}^{AS}

Severe

$$D_{fb}^{AS} = 500$$

Terdapat/terasa getaran pada pipa, cabang, kelengkapan pipa, atau pendukung pipa. Getaran sangat terasa pada saat pipa dipegang.

3. Adjustment factor for audible shaking, F_{fb}^{AS}

Shaking less than 2 weeks

$$F_{fb}^{AS} = 1$$

Interval getaran yang terjadi pada pipa yang dianalisa ialah setiap hari atau pada saat pengoperasian pipa, baik pengisian fluida ke dalam tangki maupun penyaluran fluida dari tangki.

4. Cyclic loading type, D_{fb}^{CF}

Reciprocating Machinery

$$D_{fb}^{CF} = 50$$

Getaran yang terjadi pada pipa disebabkan karena adanya pompa.

5. Base damage factor for piping, D_{fb}^{mfat}

$$\begin{aligned}
 D_{fb}^{mfat} &= \max[D_{fb}^{PF}, (D_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), D_{fb}^{CF}] \\
 &= \max[50, (500, 1), 50] \\
 &= 500
 \end{aligned}$$

6. Adjustment factors for damage

6.1. Adjustment for Corrective Action, $F_{CA} = 0.002$

Terminal LPG Semarang pernah melakukan modifikasi

pada sistem perpipaan. Modifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan analisa yang telah dikerjakan oleh departemen engineering, maintenance, dan safety.

6.2. Adjustment for Pipe Complexity,

F_{PC}

=

1

Fitting pada pipa dapat berupa T-joint, valves, elbows, dll. Jumlah fittings pada pipa yang dianalisa ialah sebanyak 6 fittings.

6.3. Adjustment for Condition of Pipe,

F_{CP}

=

1

Pipa yang dianalisa memiliki kondisi support yang masih cukup baik, hal ini dikarenakan telah dilakukan penggantian support pipa baru.

6.4. Adjustment for Joint Type or Branch Design,

=

2

Tipe sambungan yang dipasang pada pipa ialah tipe *saddle on*.

6.5. Adjustment for Branch Diameter,

F_{BD}

=

0.02

Pipa 8 inch memiliki thickness yang lebih besar dari 2 NPS.

7. Final base damage factor,

D_{fb}^{mfat}

=

D_{fb}^{mfat}

x

F_{CA}

x

F_{PC}

x

F_{CP}

x

F_{JB}

x

F_{BD}

=

500

x

0.002

x

1

x

1

x

2

x

0.02

=

0.04

8. Probability of Failure

PoF

=

g_{ff}

x

F_{MS}

x

D_F

dimana

G_{ff}

=

0.0000306

Generic failure frequency

FMS

=

0.779

Factor Management Systems


DF

=

0.04

Damage Factor
Sehingga
PoF

9.535E-07

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pipe 2 inch - V130	Date	:	
		Rev.	:	

1. Base damage factor for pipeline failure, D_{fb}^{PF}

One

$$D_{fb}^{PF} = 50$$

Pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan.

2. Base damage factor for audible shaking, D_{fb}^{AS}

Severe

$$D_{fb}^{AS} = 500$$

Terdapat/terasa getaran pada pipa, cabang, kelengkapan pipa, atau pendukung pipa. Getaran sangat terasa pada saat pipa dipegang.

3. Adjustment factor for audible shaking, F_{fb}^{AS}

Shaking less than 2 weeks

$$F_{fb}^{AS} = 1$$

Interval getaran yang terjadi pada pipa yang dianalisa ialah setiap hari atau pada saat pengoperasian pipa, baik pengisian fluida ke dalam tangki maupun penyaluran fluida dari tangki.

4. Cyclic loading type, D_{fb}^{CF}

Reciprocating Machinery

$$D_{fb}^{CF} = 50$$

Getaran yang terjadi pada pipa disebabkan karena adanya pompa.

5. Base damage factor for piping, D_{fb}^{mfat}

$$\begin{aligned}
 D_{fb}^{mfat} &= \max[D_{fb}^{PF}, (D_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), D_{fb}^{CF}] \\
 &= \max[50, (500, 1), 50] \\
 &= 500
 \end{aligned}$$

6. Adjustment factors for damage

6.1. Adjustment for Corrective Action, F_{CA} = 0.002

Terminal LPG Semarang pernah melakukan modifikasi

pada sistem perpipaan. Modifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan analisa yang telah dikerjakan oleh departemen engineering, maintenance, dan safety.

6.2. *Adjustment for Pipe Complexity,* F_{PC} = 1

Fitting pada pipa dapat berupa T-joint, valves, elbows, dll. Jumlah fittings pada pipa yang dianalisa ialah sebanyak 6 fittings.

6.3. *Adjustment for Condition of Pipe,* F_{CP} = 1

Pipa yang dianalisa memiliki kondisi support yang masih cukup baik, hal ini dikarenakan telah dilakukan penggantian support pipa baru.

6.4. *Adjustment for Joint Type or Branch Design,* = 2

Tipe sambungan yang dipasang pada pipa ialah tipe *saddle on* .

6.5. *Adjustment for Branch Diameter,* F_{BD} = 0.02

Pipa 8 inch memiliki thickness yang lebih besar dari 2 NPS.

7. Final base damage factor, D_{fb}^{mfat}

$$D_{fb}^{mfat} = D_{fb}^{mfat} \times F_{CA} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{JB} \times F_{BD}$$

$$= 500 \times 0.002 \times 1 \times 1 \times 2 \times 0.02$$

$$= 0.04$$

8. Probability of Failure

PoF = g_{ff} x F_{MS} x D_F

dimana

G_{ff} 0.0000306

Generic failure frequency


FMS 0.779

Factor Management Systems

DF 0.04

Damage Factor
Sehingga
PoF

9.535E-07

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pipe 2 inch - V140	Date	:	
		Rev.	:	

1. Base damage factor for pipeline failure, D_{fb}^{PF}

One

$$D_{fb}^{PF} = 50$$

Pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan.

2. Base damage factor for audible shaking, D_{fb}^{AS}

Severe

$$D_{fb}^{AS} = 500$$

Terdapat/terasa getaran pada pipa, cabang, kelengkapan pipa, atau pendukung pipa. Getaran sangat terasa pada saat pipa dipegang.

3. Adjustment factor for audible shaking, F_{fb}^{AS}

Shaking less than 2 weeks

$$F_{fb}^{AS} = 1$$

Interval getaran yang terjadi pada pipa yang dianalisa ialah setiap hari atau pada saat pengoperasian pipa, baik pengisian fluida ke dalam tangki maupun penyaluran fluida dari tangki.

4. Cyclic loading type, D_{fb}^{CF}

Reciprocating Machinery

$$D_{fb}^{CF} = 50$$

Getaran yang terjadi pada pipa disebabkan karena adanya pompa.

5. Base damage factor for piping, D_{fb}^{mfat}

$$\begin{aligned}
D_{fb}^{mfat} &= \max[D_{fb}^{PF}, (D_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), D_{fb}^{CF}] \\
&= \max[50, (500, 1), 50] \\
&= 500
\end{aligned}$$

6. Adjustment factors for damage

6.1. Adjustment for Corrective Action, F_{CA} = 0.002

Terminal LPG Semarang pernah melakukan modifikasi

pada sistem perpipaan. Modifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan analisa yang telah dikerjakan oleh departemen engineering, maintenance, dan safety.

6.2. *Adjustment for Pipe Complexity,*
 F_{PC}
=
1

Fitting pada pipa dapat berupa T-joint, valves, elbows, dll. Jumlah fittings pada pipa yang dianalisa ialah sebanyak 6 fittings.

6.3. *Adjustment for Condition of Pipe,*
 F_{CP}
=
1

Pipa yang dianalisa memiliki kondisi support yang masih cukup baik, hal ini dikarenakan telah dilakukan penggantian support pipa baru.

6.4. *Adjustment for Joint Type or Branch Design,*
=
2

Tipe sambungan yang dipasang pada pipa ialah tipe *saddle on*.

6.5. *Adjustment for Branch Diameter,*
 F_{BD}
=
0.02

Pipa 8 inch memiliki thickness yang lebih besar dari 2 NPS.

7. Final base damage factor, D_{fb}^{mfat}

$$D_{fb}^{mfat} = D_{fb}^{mfat} \times \frac{F_{CA}}{F_{JB}} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{BD}$$

$$= 500 \times 0.002 \times 1 \times 1 \times 0.02$$

$$= 0.04$$

8. Probability of Failure

PoF
=
g_{ff}
x
F_{MS}
x
D_F

dimana

G_{ff}
0.0000306

Generic failure frequency


FMS
0.779

Factor Management Systems

DF
0.04

Damage Factor
Sehingga
PoF

9.535E-07

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pipe 4 inch - V110	Date	:	
		Rev.	:	

1. Base damage factor for pipeline failure, D_{fb}^{PF}

None

$$D_{fb}^{PF} = 1$$

Tidak pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan.

2. Base damage factor for audible shaking, D_{fb}^{AS}

Severe

$$D_{fb}^{AS} = 500$$

Terdapat/terasa getaran pada pipa, cabang, kelengkapan pipa, atau pendukung pipa. Getaran sangat terasa pada saat pipa dipegang.

3. Adjustment factor for audible shaking, F_{fb}^{AS}

Shaking less than 2 weeks

$$F_{fb}^{AS} = 1$$

Interval getaran yang terjadi pada pipa yang dianalisa ialah setiap hari atau pada saat pengoperasian pipa, baik pengisian fluida ke dalam tangki maupun penyaluran fluida dari tangki.

4. Cyclic loading type, D_{fb}^{CF}

Reciprocating Machinery

$$D_{fb}^{CF} = 50$$

Getaran yang terjadi pada pipa disebabkan karena adanya pompa.

5. Base damage factor for piping, D_{fb}^{mfat}

$$\begin{aligned}
D_{fb}^{mfat} &= \max[D_{fb}^{PF}, (D_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), D_{fb}^{CF}] \\
&= \max[50, (500, 1), 50] \\
&= 500
\end{aligned}$$

6. Adjustment factors for damage

6.1. Adjustment for Corrective Action, F_{CA} = 0.002

Terminal LPG Semarang pernah melakukan modifikasi

pada sistem perpipaan. Modifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan analisa yang telah dikerjakan oleh departemen engineering, maintenance, dan safety.

6.2. Adjustment for Pipe Complexity, F_{PC} = 1

Fitting pada pipa dapat berupa T-joint, valves, elbows, dll. Jumlah fittings pada pipa yang dianalisa ialah sebanyak 6 fittings.

6.3. Adjustment for Condition of Pipe, F_{CP} = 1

Pipa yang dianalisa memiliki kondisi support yang masih cukup baik, hal ini dikarenakan telah dilakukan penggantian support pipa baru.

6.4. Adjustment for Joint Type or Branch Design, = 2

Tipe sambungan yang dipasang pada pipa ialah tipe *saddle on*.

6.5. Adjustment for Branch Diameter, F_{BD} = 0.02

Pipa 8 inch memiliki thickness yang lebih besar dari 2 NPS.

7. Final base damage factor, D_{fb}^{mfat}

$$\begin{aligned}
 D_{fb}^{mfat} &= D_{fb}^{mfat} \times F_{CA} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{JB} \times F_{BD} \\
 &= 500 \times 0.002 \times 1 \times 1 \times 2 \times 0.02 \\
 &= \mathbf{0.04}
 \end{aligned}$$

8. Probability of Failure

$$\text{PoF} = g_{ff} \times F_{MS} \times D_F$$

dimana

G_{ff}	0.0000306
----------	------------------

Generic failure frequency


FMS	0.779
-----	--------------

Factor Management Systems

DF	0.04
----	-------------

Damage Factor
Sehingga
PoF

9.535E-07

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pipe 4 inch - V120	Date	:	
		Rev.	:	

1. Base damage factor for pipeline failure, D_{fb}^{PF}

None

$$D_{fb}^{PF} = 1$$

Tidak pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan.

2. Base damage factor for audible shaking, D_{fb}^{AS}

Severe

$$D_{fb}^{AS} = 500$$

Terdapat/terasa getaran pada pipa, cabang, kelengkapan pipa, atau pendukung pipa. Getaran sangat terasa pada saat pipa dipegang.

3. Adjustment factor for audible shaking, F_{fb}^{AS}

Shaking less than 2 weeks

$$F_{fb}^{AS} = 1$$

Interval getaran yang terjadi pada pipa yang dianalisa ialah setiap hari atau pada saat pengoperasian pipa, baik pengisian fluida ke dalam tangki maupun penyaluran fluida dari tangki.

4. Cyclic loading type, D_{fb}^{CF}

Reciprocating Machinery

$$D_{fb}^{CF} = 50$$

Getaran yang terjadi pada pipa disebabkan karena adanya pompa.

5. Base damage factor for piping, D_{fb}^{mfat}

$$\begin{aligned}
D_{fb}^{mfat} &= \max[D_{fb}^{PF}, (D_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), D_{fb}^{CF}] \\
&= \max[50, (500, 1), 50] \\
&= 500
\end{aligned}$$

6. Adjustment factors for damage

6.1. Adjustment for Corrective Action, F_{CA} = 0.002

Terminal LPG Semarang pernah melakukan modifikasi

pada sistem perpipaan. Modifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan analisa yang telah dikerjakan oleh departemen engineering, maintenance, dan safety.

6.2. Adjustment for Pipe Complexity, F_{PC} = 1

Fitting pada pipa dapat berupa T-joint, valves, elbows, dll. Jumlah fittings pada pipa yang dianalisa ialah sebanyak 6 fittings.

6.3. Adjustment for Condition of Pipe, F_{CP} = 1

Pipa yang dianalisa memiliki kondisi support yang masih cukup baik, hal ini dikarenakan telah dilakukan penggantian support pipa baru.

6.4. Adjustment for Joint Type or Branch Design, = 2

Tipe sambungan yang dipasang pada pipa ialah tipe *saddle on*.

6.5. Adjustment for Branch Diameter, F_{BD} = 0.02

Pipa 8 inch memiliki thickness yang lebih besar dari 2 NPS.

7. Final base damage factor, D_{fb}^{mfat}

$$\begin{aligned}
 D_{fb}^{mfat} &= D_{fb}^{mfat} \times F_{CA} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{JB} \times F_{BD} \\
 &= 500 \times 0.002 \times 1 \times 1 \times 2 \times 0.02 \\
 &= \mathbf{0.04}
 \end{aligned}$$

8. Probability of Failure

$$\text{PoF} = g_{ff} \times F_{MS} \times D_F$$

dimana

G_{ff}	0.0000306
----------	------------------

Generic failure frequency


FMS	0.779
-----	--------------

Factor Management Systems

DF	0.04
----	-------------

Damage Factor
Sehingga
PoF

9.535E-07

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pipe 4 inch - V130	Date	:	
		Rev.	:	

1. Base damage factor for pipeline failure, D_{fb}^{PF}

None

$$D_{fb}^{PF} = 1$$

Tidak pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan.

2. Base damage factor for audible shaking, D_{fb}^{AS}

Severe

$$D_{fb}^{AS} = 500$$

Terdapat/terasa getaran pada pipa, cabang, kelengkapan pipa, atau pendukung pipa. Getaran sangat terasa pada saat pipa dipegang.

3. Adjustment factor for audible shaking, F_{fb}^{AS}

Shaking less than 2 weeks

$$F_{fb}^{AS} = 1$$

Interval getaran yang terjadi pada pipa yang dianalisa ialah setiap hari atau pada saat pengoperasian pipa, baik pengisian fluida ke dalam tangki maupun penyaluran fluida dari tangki.

4. Cyclic loading type, D_{fb}^{CF}

Reciprocating Machinery

$$D_{fb}^{CF} = 50$$

Getaran yang terjadi pada pipa disebabkan karena adanya pompa.

5. Base damage factor for piping, D_{fb}^{mfat}

$$\begin{aligned}
 D_{fb}^{mfat} &= \max[D_{fb}^{PF}, (D_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), D_{fb}^{CF}] \\
 &= \max[50, (500, 1), 50] \\
 &= 500
 \end{aligned}$$

6. Adjustment factors for damage

6.1. Adjustment for Corrective Action, F_{CA} = 0.002

Terminal LPG Semarang pernah melakukan modifikasi

pada sistem perpipaan. Modifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan analisa yang telah dikerjakan oleh departemen engineering, maintenance, dan safety.

6.2. *Adjustment for Pipe Complexity,* F_{PC} = 1

Fitting pada pipa dapat berupa T-joint, valves, elbows, dll. Jumlah fittings pada pipa yang dianalisa ialah sebanyak 6 fittings.

6.3. *Adjustment for Condition of Pipe,* F_{CP} = 1

Pipa yang dianalisa memiliki kondisi support yang masih cukup baik, hal ini dikarenakan telah dilakukan penggantian support pipa baru.

6.4. *Adjustment for Joint Type or Branch Design,* = 2

Tipe sambungan yang dipasang pada pipa ialah tipe *saddle on*.

6.5. *Adjustment for Branch Diameter,* F_{BD} = 0.02

Pipa 8 inch memiliki thickness yang lebih besar dari 2 NPS.

7. Final base damage factor, D_{fb}^{mfat}

$$D_{fb}^{mfat} = D_{fb}^{mfat} \times F_{CA} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{JB} \times F_{BD}$$

$$= 500 \times 0.002 \times 1 \times 1 \times 2 \times 0.02$$

$$= 0.04$$

8. Probability of Failure

PoF = $g_{ff} \times F_{MS} \times D_F$

dimana

G_{ff} 0.0000306

Generic failure frequency


FMS 0.779

Factor Management Systems

DF 0.04

Damage Factor
Sehingga
PoF

9.535E-07

	Probability of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Pipe 4 inch - V140	Date	:	
		Rev.	:	

1. Base damage factor for pipeline failure, D_{fb}^{PF}

None

$$D_{fb}^{PF} = 1$$

Tidak pernah terjadi kegagalan pada sistem perpipaan.

2. Base damage factor for audible shaking, D_{fb}^{AS}

Severe

$$D_{fb}^{AS} = 500$$

Terdapat/terasa getaran pada pipa, cabang, kelengkapan pipa, atau pendukung pipa. Getaran sangat terasa pada saat pipa dipegang.

3. Adjustment factor for audible shaking, F_{fb}^{AS}

Shaking less than 2 weeks

$$F_{fb}^{AS} = 1$$

Interval getaran yang terjadi pada pipa yang dianalisa ialah setiap hari atau pada saat pengoperasian pipa, baik pengisian fluida ke dalam tangki maupun penyaluran fluida dari tangki.

4. Cyclic loading type, D_{fb}^{CF}

Reciprocating Machinery

$$D_{fb}^{CF} = 50$$

Getaran yang terjadi pada pipa disebabkan karena adanya pompa.

5. Base damage factor for piping, D_{fb}^{mfat}

$$\begin{aligned}
 D_{fb}^{mfat} &= \max[D_{fb}^{PF}, (D_{fb}^{AS}, F_{fb}^{AS}), D_{fb}^{CF}] \\
 &= \max[50, (500, 1), 50] \\
 &= 500
 \end{aligned}$$

6. Adjustment factors for damage

6.1. Adjustment for Corrective Action, $F_{CA} = 0.002$

Terminal LPG Semarang pernah melakukan modifikasi

pada sistem perpipaan. Modifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan analisa yang telah dikerjakan oleh departemen engineering, maintenance, dan safety.

6.2. *Adjustment for Pipe Complexity,* F_{PC} = 1

Fitting pada pipa dapat berupa T-joint, valves, elbows, dll. Jumlah fittings pada pipa yang dianalisa ialah sebanyak 6 fittings.

6.3. *Adjustment for Condition of Pipe,* F_{CP} = 1

Pipa yang dianalisa memiliki kondisi support yang masih cukup baik, hal ini dikarenakan telah dilakukan penggantian support pipa baru.

6.4. *Adjustment for Joint Type or Branch Design,* = 2

Tipe sambungan yang dipasang pada pipa ialah tipe *saddle on*.

6.5. *Adjustment for Branch Diameter,* F_{BD} = 0.02

Pipa 8 inch memiliki thickness yang lebih besar dari 2 NPS.

7. Final base damage factor, D_{fb}^{mfat}

$$D_{fb}^{mfat} = D_{fb}^{mfat} \times F_{CA} \times F_{PC} \times F_{CP} \times F_{JB} \times F_{BD}$$

$$= 500 \times 0.002 \times 1 \times 1 \times 2 \times 0.02$$

$$= 0.04$$

8. Probability of Failure

PoF = g_{ff} x F_{MS} x D_F

dimana

G_{ff} 0.0000306

Generic failure frequency

FMS 0.779

Factor Management Systems

DF 0.04


Damage Factor
Sehingga
PoF

9.535E-07

LAMPIRAN G

Detail Perhitungan Konsekuensi Kegagalan

Piping Systems

	Consequence of Failure	No. Doc.	:
		Type	:
	Analyse Level 1 Piping System	Date	:
		Rev.	:

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya, termasuk fase pelepasannya.

1.1 Memilih kelompok fluida representatif

Pemilihan fluida representatif dipengaruhi oleh jenis fluida yang diproses didalam *pressure vessel*. Fluida yang dijadikan objek penelitian dalam tugas akhir ini adalah LPG. Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana, yang termasuk dalam gugus C3.

1.2 Menentukan fase penyimpanan fluida

Fase fluida yang disimpan dalam *pressure vessel* ialah cair atau *stored liquid*.

1.3 Menentukan sifat-sifat fluida yang disimpan untuk *stored liquid*.

$$\begin{aligned}\rho &= 33.6 \text{ lb/ft}^3 \\ \text{AIT} &= 1157 \text{ }^\circ\text{Rankine} \\ \text{NBP} &= 370 \text{ }^\circ\text{Rankine}\end{aligned}$$

1.4 Menentukan fase fluida stabil setelah terlepas ke atmosfer.

Fluida yang dianalisis disimpan dalam bentuk cair dan akan berubah fase menjadi gas pada saat terlepas ke udara. Fluida LPG memiliki nilai NBP sebesar (-6.9°C) atau dibawah 80°F , sehingga fase fluida stabil dimodelkan sebagai gas

2. Pemilihan ukuran lubang pelepasan

2.1 Menentukan diameter lubang pelepasan berdasarkan tabel 8.4 lampiran C

Annex A API 581 memberikan keterangan untuk *pressure vessel*, empat ukuran lubang pelepasan diasumsikan untuk semua ukuran dan tipe *pressure vessel*

Small	d_1	=	0.25 inch
Medium	d_2	=	1 inch
Rupture	d_4	=	2 inch

2.2 Menentukan nilai frekuensi kegagalan generic, gff, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan berdasarkan tabel ... lampiran B.

Small	gff_1	=	8.00E-06
Medium	gff_2	=	2.00E-07
Rupture	gff_4	=	6.00E-05

2.3 Menentukan nilai frekuensi kegagalan generic total

$$gff_{tot} = 6.82E-05$$

3. Menghitung laju pelepasan

3.1 Menghitung tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} + \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (4.1)$$

Dimana,

$$\begin{aligned} P_{atm} &= 1 \text{ bar} = 14.5 \text{ psi} \\ k &= \frac{C_p}{C_p - R} \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$$

A	:	2.63
B	:	0.32
C	:	-1.35
D	:	1.47
T	:	308 °rankine

Maka

$$\begin{aligned} C_p &= 2.63 + 98 + -127906 + 42896364 \\ &= 4.28E+07 \text{ J/kmol-K} \\ &= 2.25E+04 \text{ Btu/kmol-°R} \\ R &= 1545 \text{ ft-lbf/lb-mol°R} \end{aligned}$$

Dan

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{2.25\text{E}+04}{2.25\text{E}+04 - 1545} \\
 &= \frac{2.25\text{E}+04}{2.10\text{E}+04} \\
 &= 1.07359235
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 P_{trans} &= 14.504 + \left(\frac{1.0736 + 1}{2} \right)^{\frac{1.0736}{1.0736-1}} \\
 &= 17.3 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

3.2 Menghitung laju pelepasan dengan ketentuan :

a. Apabila tekanan penyimpanan, P_s , lebih besar dari tekanan transisi, P_{trans} , maka laju pelepasan dihitung dengan rumusan 4.3 dibawah ini :

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} x A_n x P_s \sqrt{\left(\frac{k x MW x gc}{R x T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (4.3)$$

b. Apabila tekanan penyimpanan, P_s , lebih kecil dari tekanan transisi maka dihitung dengan rumusan 4.4 dibawah ini :

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} x A_n x P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot gc}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]} \quad (4.4)$$

Dengan,

$$P_s = 12.07 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

Dapat disimpulkan bahwa $P_s > P_{trans}$, sehingga laju pelepasan dihitung dengan rumusan 4.3 di atas, yaitu :

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} x A_n x P_s \sqrt{\left(\frac{k x MW x gc}{R x T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

Dimana,

$$Cd = 0.9$$

= Discharge coefficient untuk aliran gas turbulen dari sudut lancip yang bernilai antara $0.85 \leq Cd \leq 1.0$

C2	=	1	
	=	<i>Customary conversion factors</i>	, dapat dilihat pada tabel 8.11 lampiran C.
An	=	$\pi d_n^2/4$	
	=	<i>Release hole size area</i>	untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan
An ₁	=	0.05 inch ²	
An ₂	=	0.79 inch ²	
An ₄	=	3.14 inch ²	
Ps	=	175 psi	
k	=	1.0735923	
MW	=	51	
	=	Molecular Weight	
g _c	=	32.2 lb _m -ft/lb _f -s ²	
	=	Konstanta gravitasi	
R	=	1545 ft-lbm/lb-mol°R	
	=	Konstanta gas	
T _s	=	35 °C	= 555 °Rankine
	=	Suhu penyimpanan	
Laju pelepasan untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan adalah :			
W ₁	=	0.35 lb/s	
W ₂	=	5.57 lb/s	
W ₃	=	22.3 lb/s	

4. Mengestimasi fluid inventory yang terlepas

4.1 Menentukan kelompok peralatan dan jenis peralatan dalam *inventory groups* .

API RBI 581 Annex 3A memberikan asumsi untuk jenis peralatan drum ialah sebesar 50% dari volum total.

4.2 Menghitung massa fluida, mass_{comp}, pada peralatan yang dianalisa.

Massa fluida dihitung dengan menggunakan rumusan :

$$\text{Mass}_{\text{pipe}2''} = \rho \times 50\% \times V \quad (4.5)$$

dengan

$$V = 33.49 \text{ m}^3$$

sehingga

$$\begin{aligned} \text{Mass}_{\text{pipe}2''} &= 33.6 \times 50\% \times 33.49 \\ &= 562.85547 \text{ lbs} \end{aligned}$$

4.3 Menghitung massa fluida pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $\text{mass}_{\text{comp},i}$

TLS memiliki 4 buah *pressure vessel* dengan diameter yang sama. Massa fluida pada masing-masing peralatan sama dengan jumlah massa fluida yang dianalisa, sehingga dapat disimpulkan bahwa :

$$\begin{aligned} \text{mass}_{\text{pipe}4''} &= \rho \times 50\% \times V \\ &= 33.6 \times 50\% \times 267.95 \\ &= 4502.84 \text{ lbs} \\ \text{mass}_{\text{pipe}8''} &= \rho \times 50\% \times V \\ &= 33.6 \times 50\% \times 2143.57 \\ &= 36022.75 \text{ lbs} \end{aligned}$$

4.4 Menghitung massa fluida dalam *inventory group* dengan menggunakan rumusan 4.6 di bawah ini :

$$\begin{aligned} \sum \text{mass}_{\text{inv}} &= \sum_{i=1}^n \text{mass}_{\text{comp},i} \quad (4.6) \\ &= \text{Mass}_{\text{pipe}4''} + \text{Mass}_{\text{pipe}8''} \\ &= 4502.8437 + 36022.75 \\ &= 40525.59 \text{ lbs} \end{aligned}$$

4.5 Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch), menggunakan rumusan 4.3 atau 4.4 yang sesuai

$$W_{\text{max}8} = \frac{C_d}{C_2} \times A_N \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (4.7)$$

dimana,

$$A_n = A_8 = 50.3 \text{ inch}^2$$

sehingga

$$W_{\max 8} = 357 \text{ lb/s}$$

4.6 Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus 4.8 berikut ini :

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{\max 8}] \quad (4.8)$$

a. Massa fluida tambahan untuk laju pelepasan 1 (W_{n1})

$$mass_{add1} = 180 \times \min[0.35, 375]$$

$$\begin{aligned} mass_{add1} &= 180 \times 0.35 \\ &= 62.6 \text{ lbs} \end{aligned}$$

b. Massa fluida tambahan untuk laju pelepasan 2 (W_{n2})

$$mass_{add2} = 180 \times \min[5.57, 375]$$

$$\begin{aligned} mass_{add2} &= 180 \times 5.57 \\ &= 1002 \text{ lbs} \end{aligned}$$

c. Massa fluida tambahan untuk laju pelepasan 4 (W_{n4})

$$mass_{add3} = 180 \times \min[22.3, 375]$$

$$\begin{aligned} mass_{add3} &= 180 \times 22.3 \\ &= 4007.3035 \text{ lbs} \end{aligned}$$

4.7 Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan 4.9 berikut :

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}] \quad (4.9)$$

a. Massa *available* untuk ukuran lubang $\frac{1}{4}$ inch

$$mass_{avail1} = \min[(562.85 + 62.6), 40525.59]$$

$$mass_{avail1} = \min[625.47, 40525.59]$$

$$= 625.47 \text{ lbs}$$

b. Massa *available* untuk ukuran lubang 1 inch

$$mass_{avail2} = \min[(562.85 + 1002), 40525.59]$$

$$mass_{avail2} = \min[1564.68, 40525.59]$$

$$= 1564.68 \text{ lbs}$$

d. Massa *available* untuk ukuran lubang 16 inch

$$mass_{avail3} = \min[(562.85 + 64193.43), 336100]$$

$$mass_{avail3} = \min[64756.28, 40525.59]$$

$$= 4570.16 \text{ lbs}$$

5. Menentukan tipe pelepasan (*continuous or instantaneous*)

5.1 Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan 4.536 kg [10000 lbs], untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan berikut :

$$t_n = \frac{C_3}{W_n} \quad (4.10)$$

dimana

$$C_3 = 10000$$

$$= \text{Customary conversion factors, dapat dilihat pada tabel 8.11 lampiran C.}$$

$$W_n = \text{Laju pelepasan untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan}$$

a. Waktu yang dibutuhkan pada diameter ¼ inch

$$t_1 = \frac{C_3}{W_1}$$

$$= \frac{10000}{0.3478562}$$

$$= 28747.511 \text{ second}$$

b. Waktu yang dibutuhkan pada diameter 1 inch

$$t_2 = \frac{C_3}{W_2}$$

$$= \frac{10000}{5.5656993}$$

$$= 1796.7194 \text{ second}$$

c. Waktu yang dibutuhkan pada diameter 16 inch

$$\begin{aligned} t_3 &= \frac{C_3}{W_3} \\ &= \frac{10000}{22.262797} \\ &= 449.17985 \text{ second} \end{aligned}$$

5.2 Menentukan tipe pelepasan, instantaneous atau continuous, menggunakan kriteria dibawah ini :

a. Apabila ukuran lubang pelepasan adalah 6.35 mm [0.25 inch] atau kurang, maka tipe pelepasan adalah continuous.

b. Apabila $t_n \leq 180$ second atau massa yang terlepas lebih dari 4.536 kgs [10000 lbs], maka tipe pelepasan adalah instantaneous; jika tidak, maka continuous.

Tipe pelepasan dipengaruhi oleh besarnya massa fluida yang dapat terlepas, $mass_{avail}$, dan waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan fluida. Perhitungan pada langkah 5.1 di atas menunjukkan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan fluida, sehingga dari perhitungan diatas dapat disimpulkan :

a. Hasil perhitungan untuk diameter ¼ inch :

$$\begin{aligned} mass_{avail} &= 625.46958 \text{ lbs} \\ t_n &= 28747.511 \text{ scnd} \end{aligned}$$

API RBI memberikan ketentuan untuk diameter lubang pelepasan sebesar 0.25 (¼ inch) atau kurang, maka tipe pelepasannya adalah *continuous release*.

b. Hasil perhitungan untuk diameter 1 inch :

$$\begin{aligned} mass_{avail} &= 1564.6813 \text{ lbs} \\ t_n &= 1796.7194 \text{ scnd} \end{aligned}$$

Tipe pelepasan untuk diameter 1 inch adalah *continuous release*.

c. Hasil perhitungan untuk diameter 16 inch :

$$\text{mass}_{\text{avail}} = 4570.159 \text{ lbs}$$

$$t_n = 449.17985 \text{ scnd}$$

Tipe pelepasan untuk diameter 16 inch adalah *continuous release*.

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

6.1 Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis *support* yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

6.2 Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6

Dari penjelasan langkah 1 di atas maka dapat ditentukan klasifikasi sistem deteksi yaitu B.

6.3 Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C.

Berdasarkan penjelasan di langkah 1 dapat ditentukan klasifikasi sistem isolasi ialah B.

6.4 Menentukan faktor reduksi, fact_{di} , menggunakan tabel 8.7 lampiran C

Dari tabel 7.7 lampiran C untuk sistem deteksi B dan sistem isolasi B nilai reduction factor, fact_{di} , adalah 0.15

6.5 Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, $\text{Id}_{\text{max},n}$ menggunakan tabel 8.8 lampiran C.

Dari tabel 8.8 lampiran C dapat disimpulkan :

- Id_{max} untuk ¼ inch : 40 menit

- Id_{max} untuk 1 inch : 30 menit

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisa konsekuensi

7.1 Menghitung laju pelepasan, $rate_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Rate_n = W_n (1 - fact_{di}) \quad (4.11)$$

Rumusan diatas digunakan untuk menghitung laju pelepasan apabila tipe pelepasannya adalah *continuous release*. Tipe pelepasan *continuous release* dari hasil analisa di atas ialah pada lubang pelepasan ¼ inch dan 1 inch.

a. Laju pelepasan untuk diameter ¼ inch adalah

$$\begin{aligned} Rate_1 &= 0.35 \times (1 - 0.2) \\ &= 0.3 \text{ lb/s} \end{aligned}$$

b. Laju pelepasan untuk diameter 1 inch adalah

$$\begin{aligned} Rate_2 &= 5.57 \times (1 - 0.2) \\ &= 4.73 \text{ lb/s} \end{aligned}$$

c. Laju pelepasan untuk diameter 2 inch adalah

$$\begin{aligned} Rate_3 &= 22.3 \times (1 - 0.2) \\ &= 17.8 \text{ lb/s} \end{aligned}$$

7.2 Menghitung durasi kebocoran, Id_n , menggunakan rumusan :

$$Id_n = \min\left[\left(\frac{mass_{avail,n}}{rate_n}\right), (60 \times Id_{max,n})\right] \quad (4.12)$$

Durasi kebocoran, Id_n , diaplikasikan pada tipe pelepasan *instantaneous release*. Tidak terdapat tipe pelepasan *instantaneous release* berdasarkan analisis di atas, sehingga nilai durasi kebocoran tidak perlu dihitung

7.3 Menghitung massa pelepasan, $mass_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Mass_n = \min[(rate_n \times Id_n), mass_{avail,n}] \quad (4.13)$$

Rumusan di atas digunakan untuk menghitung massa

pelepasan apabila tipe pelepasan adalah *instantaneous release*. Tidak ada tipe pelepasan *instantaneous release* berdasarkan analisis di atas, sehingga tidak perlu menghitung massa pelepasan.

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor*, $fact_{mi}$, dari tabel 5.10 lampiran C.

Sistem mitigasi yang dimiliki oleh Terminal LPG Semarang ialah sistem pemadam kebakaran dengan monitoring di *control room*. Nilai *consequence area mitigation reduction factor*, $fact_{mi}$, untuk sistem mitigasi tersebut ialah 0.2

$$fact_{mi} = 0.2$$

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor*, $eneff_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$eneff_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot Mass_n] - 15 \quad (4.14)$$

dengan nilai

$$C_4 = 1$$

Persamaan di atas hanya berlaku pada tipe pelepasan *instantaneous release*, sehingga tidak perlu dilakukan perhitungan *energy efficiency correction factor*.

8.3. Menentukan tipe fluida, apakah tipe 0 atau tipe 1 dari tabel 5.1

Fluida yang dianalisa pada tugas akhir ini ialah LPG. Fluida LPG memiliki kandungan hidrokarbon butana yang termasuk dalam gugus C_3 . Tipe fluida untuk gugus C_3 berdasarkan tabel 6.1 lampiran B ialah tipe 0.

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan

tabel 3.6. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (gas)

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-CONT} &= 49.5 \\ b_{cmd}^{AINL-CONT} &= 1 \end{aligned}$$

2) Apabila tipe pelepasan adalah *liquid* dan tipe fluida adalah tipe 0, maka persamaan 4.15 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 4.16 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = \min[\{a(rate_n)^b\}, C_7] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.15)$$

$$effrate_n^{AINL-CONT} = \frac{1}{C_4} \cdot \exp \left[\log_{10} \left[\frac{CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}}{C_8 \cdot a} \right] \cdot b^{-1} \right] \quad (4.16)$$

Tipe pelepasan pada fluida yang dianalisa ialah gas, sehingga rumusan di atas tidak berlaku.

3) Apabila tipe pelepasan adalah gas atau uap dan tipe fluida adalah tipe 0 atau 1, maka persamaan 4.17 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 4.18 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} = a(rate_n)^b \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.17)$$

$$effrate_n^{AINL-CONT} = rate_n \quad (4.18)$$

Tipe pelepasan *continuous release* ialah pada lubang kebocoran ¼ inch dan 1 inch, sehingga nilai *component damage consequence area* untuk *Auto-ignition Not Likely* adalah :

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT} = 11.7 \text{ ft}^2$$

Besarnya *effective release rate* untuk *Auto-ignition Not Likely* ialah :

$$effrate_1^{AINL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT} = 187 \text{ ft}^2$$

Besarnya *effective release rate* untuk *Auto-ignition Not Likely* ialah :

$$effrate_2^{AINL-CONT} = 4.73 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL-CONT} = 705 \text{ ft}^2$$

Besarnya *effective release rate* untuk *Auto-ignition Not Likely* ialah :

$$effrate_3^{AIL-CONT} = 17.8 \text{ lb/s}$$

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Continuous Release* (AIL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Likely*, *Continuous Release* (gas) ialah :

$$a_{cmd}^{AIL-CONT} = 314$$

$$b_{cmd}^{AIL-CONT} = 1$$

2) Apabila tipe pelepasan adalah *liquid* dan tipe fluida adalah tipe 0, maka persamaan 4.19 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 4.20 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} = \min[\{a (rate_n)^b\}, C_7]. (1 - fact_{mit}) \quad (4.19)$$

$$effrate_n^{AIL-CONT} = \frac{1}{C_4} \cdot \exp \left[\log_{10} \left[\frac{CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}}{C_8 \cdot a} \right] \cdot b^{-1} \right] \quad (4.20)$$

Tipe pelepasan pada fluida yang dianalisa ialah gas, sehingga rumusan di atas tidak berlaku.

3) Apabila tipe pelepasan adalah gas atau uap dan tipe fluida adalah tipe 0 atau 1, maka persamaan 4.21 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 4.22 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} = a(rate_n)^b \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.21)$$

$$effrate_n^{AIL-CONT} = rate_n \quad (4.22)$$

Tipe pelepasan *continuous release* ialah pada lubang kebocoran ¼ inch dan 1 inch, sehingga nilai *component damage consequence area* untuk *Auto-ignition Likely* adalah :

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT} = 74.2 \text{ ft}^2$$

Besarnya *effective release rate* untuk *Auto-ignition Likely* ialah :

$$effrate_1^{AIL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT} = 1187 \text{ ft}^2$$

Besarnya *effective release rate* untuk *Auto-ignition Likely* ialah :

$$effrate_2^{AIL-CONT} = 4.73 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL-CONT} = 4468 \text{ ft}^2$$

Besarnya *effective release rate* untuk *Auto-ignition Likely* ialah :

$$effrate_3^{AIL-CONT} = 17.8 \text{ lb/s}$$

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AINL-INST),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan

tabel 3.6. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (gas) ialah :

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AINL-INST} &= 28 \\ b_{cmd}^{AINL-INST} &= 0.72 \end{aligned}$$

2) Apabila tipe pelepasan adalah *liquid* dan tipe fluida adalah tipe 0, maka persamaan 4.23 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 4.24 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} = \min[\{a (mass_n)^b\}, C_7] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.23)$$

$$effmass_n^{AINL-INST} = \frac{1}{C_4} \cdot \exp \left[\log_{10} \left[\frac{CA_{cmd,n}^{AINL-INST}}{C_8 \cdot a} \right] \cdot b^{-1} \right] \quad (4.24)$$

Tipe pelepasan pada fluida yang dianalisa ialah gas, sehingga rumusan di atas tidak berlaku.

3) Apabila tipe pelepasan adalah gas atau uap dan tipe fluida adalah tipe 0 atau 1, maka persamaan 4.25 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 4.26 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-INST} = a (mass_n)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.25)$$

$$effmass_n^{AINL-INST} = mass_n \quad (4.26)$$

Tidak ada tipe pelepasan *instantaneous release*, sehingga tidak perlu dihitung besarnya *consequence area component damage*, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous release*.

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (gas) ialah :

$$\begin{aligned} a_{cmd}^{AIL-INST} &= 522.9 \\ b_{cmd}^{AIL-INST} &= 0.63 \end{aligned}$$

2) Apabila tipe pelepasan adalah *liquid* dan tipe fluida adalah tipe 0, maka persamaan 4.27 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 4.28 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST} = \min[\{a (mass_n)^b\}, C_7] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.27)$$

$$effmass_n^{AIL-INST} = \frac{1}{C_4} \cdot \exp \left[\log_{10} \left[\frac{CA_{cmd,n}^{AIL-INST}}{C_8 \cdot a} \right] \cdot b^{-1} \right] \quad (4.28)$$

Tipe pelepasan pada fluida yang dianalisa ialah gas, sehingga rumusan di atas tidak berlaku.

3) Apabila tipe pelepasan adalah gas atau uap dan tipe fluida adalah tipe 0 atau 1, maka persamaan 4.29 dibawah ini digunakan untuk menghitung konsekuensi area dan persamaan 4.30 digunakan untuk menghitung laju pelepasan.

$$CA_{cmd,n}^{AIL-INST} = a (mass_n)^b \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.29)$$

$$effmass_n^{AIL-INST} = mass_n \quad (4.30)$$

Tidak ada tipe pelepasan *instantaneous release*, sehingga tidak perlu dihitung besarnya *consequence area component damage*, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous release*.

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk

Auto-ignition Not Likely, Continuous Release (AINL-CONT),

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b , dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (gas) ialah :

$$\begin{aligned}a_{inj}^{AINL-CONT} &= 125.2 \\b_{inj}^{AINL-CONT} &= 1.00\end{aligned}$$

- 2) Menghitung konsekuensi area menggunakan rumusan 4.31 di bawah ini :

$$CA_{inj,n}^{AINL-CONT} = [a (effrate_n^{AINL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.31)$$

Rumusan di atas digunakan untuk menghitung konsekuensi area untuk tipe pelepasan *continuous* ($\frac{1}{4}$ inch dan 1 inch), sehingga :

- a. Pada lubang pelepasan $\frac{1}{4}$ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT} = 29.6 \text{ ft}^2$$

Besarnya laju pelepasan adalah

$$effrate_1^{AINL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

- b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-CONT} = 474 \text{ ft}^2$$

Besarnya laju pelepasan adalah

$$effrate_2^{AINL-CONT} = 4.73 \text{ lb/s}$$

- c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL-CONT} = 1784 \text{ ft}^2$$

Besarnya laju pelepasan adalah

$$effrate_3^{AIL-CONT} = 17.8 \text{ lb/s}$$

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely, Continuous Release (AIL-CONT),*

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b , dari

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Likely*, *Continuous Release* (gas) ialah :

$$a_{inj}^{AIL-CONT} = 836.7$$

$$b_{inj}^{AIL-CONT} = 1$$

2) Menghitung konsekuensi area menggunakan rumusan 4.32 di bawah ini :

$$CA_{inj,n}^{AIL-CONT} = [a (effrate_n^{AIL-CONT})^b] \cdot (1 - fact_{mit}) \quad (4.32)$$

Rumusan di atas digunakan untuk menghitung konsekuensi area untuk tipe pelepasan *continuous* (¼ inch dan 1 inch), sehingga :

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT} = 198 \text{ ft}^2$$

Besarnya laju pelepasan adalah

$$effrate_1^{AIL-CONT} = 0.3 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT} = 3167 \text{ ft}^2$$

Besarnya laju pelepasan adalah

$$effrate_2^{AIL-CONT} = 4.73 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-CONT} = 11921.461 \text{ ft}^2$$

Besarnya laju pelepasan adalah

$$effrate_3^{AIL-CONT} = 17.8 \text{ lb/s}$$

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition No Likely, Instantaneous Release* (gas) ialah :

$$\begin{aligned} a_{inj}^{AINL-INST} &= 57.7 \\ b_{inj}^{AINL-INST} &= 0.75 \end{aligned}$$

2) Menghitung konsekuensi area menggunakan rumusan 4.33 di bawah ini :

$$CA_{inj,n}^{AINL-INST} = [a (effrate_n^{AINL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.33)$$

Tidak ada tipe pelepasan *instantaneous release*, sehingga tidak perlu dihitung besarnya *consequence area injury personel, Auto-ignition Not Likely, Instantaneous release*.

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

Besarnya konstanta (a) dan (b) untuk *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (gas) ialah :

$$\begin{aligned} a_{inj}^{AIL-INST} &= 1769 \\ b_{inj}^{AIL-INST} &= 0.63 \end{aligned}$$

2) Menghitung konsekuensi area menggunakan rumusan 4.34 di bawah ini :

$$CA_{inj,n}^{AIL-INST} = [a (effrate_n^{AIL-INST})^b] \cdot \left(\frac{1 - fact_{mit}}{eneff_n} \right) \quad (4.34)$$

Tidak ada tipe pelepasan *instantaneous release*, sehingga tidak perlu dihitung besarnya *consequence area injury personel, Auto-ignition Likely, Instantaneous release*.

8.12. Menghitung *instantaneous /conintinuuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan persamaan 4.34, 4.35, atau 4.36 yang sesuai.

a. Nilai *blending factor* untuk tipe pelepasan *continuous* yang dekat dengan titik transisi *instantaneous* (4.536 kgs [10000 lbs] selama 3 menit, atau laju pelepasan 25.2 kg/s [55.6 lb/s])

$$fact_n^{IC} = \min \left[\left\{ \frac{rate_n}{C_5} \right\}, 1.0 \right] \quad (4.34)$$

b. Nilai *blending factor* *instantaneous* apabila konstanta tidak disediakan dalam tabel 5.8 atau 5.9 maka :

$$fact_n^{IC} = 0.0 \quad (4.35)$$

c. Nilai *blending factor* untuk pelepasan *instantaneous* tidak disediakan, sehingga :

$$fact_n^{IC} = 1.0 \quad (4.36)$$

Nilai-nilai *blending factor* dipilih berdasarkan tipe pelepasan yang sesuai untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, sehingga nilai masing-masing :

1. Ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{aligned} \text{Tipe pelepasan} &= \text{Continuous Release} \\ fact_1^{IC} &= 0.005 \end{aligned}$$

2. Ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{aligned} \text{Tipe pelepasan} &= \text{Continuous Release} \\ fact_2^{IC} &= 0.09 \end{aligned}$$

3. Ukuran lubang pelepasan 16 inch

$$\begin{aligned} \text{Tipe pelepasan} &= \text{Continuous Release} \\ fact_3^{IC} &= 0.32 \end{aligned}$$

8.13. Menghitung AIT *blending factor* menggunakan rumusan 4.37, 4.38, dan 4.39 yang sesuai.

$$fact^{AIT} = 0 \quad (4.37)$$

apabila $T_s + C_6 \leq AIT$

$$fact^{AIT} = \frac{(T_s - AIT + C_6)}{2 \times C_6} \quad (4.38)$$

$$\begin{aligned} & \text{apabila } T_s + C_6 > AIT > T_s - C_6 \\ fact^{AIT} &= 1 \\ & \text{apabila } T_s - C_6 \geq AIT \end{aligned} \quad (4.39)$$

dimana

$$T_s = 555 \text{ }^\circ\text{Rankine}$$

$$C_6 = 100$$

$$AIT = 1157 \text{ }^\circ\text{Rankine}$$

$$T_s = 555$$

$$T_s + C_6 = 655$$

$$T_s - C_6 = 455$$

Nilai $T_s + C_6$ ialah sebesar 495°Rankine (di bawah nilai AIT) dan $T_s - C_6$ adalah 395°Rankine (di bawah nilai AIT) sehingga didapatkan nilai AIT *blending factor* :

$$fact^{AIT} = 0$$

8.14. Menghitung *continuous /instantaneous blended consequence area* menggunakan rumusan 4.40 sampai 4.43 berdasarkan konsekuensi area yang sudah dihitung sebelumnya.

$$CA_{cmd,n}^{AIL} = CA_{cmd,n}^{AIL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AIL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.40)$$

$$CA_{cmd,n}^{AINL} = CA_{cmd,n}^{AINL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{cmd,n}^{AINL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.41)$$

$$CA_{inj,n}^{AIL} = CA_{inj,n}^{AIL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AIL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.42)$$

$$CA_{inj,n}^{AINL} = CA_{inj,n}^{AINL-INST} \times fact_n^{IC} + CA_{inj,n}^{AINL-CONT} \times (1 - fact_n^{IC}) \quad (4.43)$$

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*,

a. Untuk ukuran lubang $\frac{1}{4}$ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-INST} = 0$$

$$fact_1^{IC} = 0.005$$

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT} = 74.2$$

$$\text{Besarnya } CA_{cmd1}^{AIL},$$

$$CA_{cmd1}^{AIL} = 73.8 \text{ ft}^2$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-INST} = 0$$

$$fact_2^{IC} = 0.09$$

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT} = 1186.874$$

Besarnya CA_{cmd2}^{AIL} ,

$$CA_{cmd2}^{AIL} = 1085.887 \text{ ft}^2$$

c. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL-INST} = 0$$

$$fact_3^{IC} = 0.32$$

$$CA_{cmd3}^{AIL-CONT} = 4468.232$$

Besarnya CA_{cmd3}^{AIL} ,

$$CA_{cmd3}^{AIL} = 3036.932 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-INST} = 0$$

$$fact_1^{IC} = 0.005$$

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT} = 198$$

Besarnya CA_{inj1}^{AIL} ,

$$CA_{inj1}^{AIL} = 197 \text{ ft}^2$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-INST} = 0$$

$$fact_2^{IC} = 0.09$$

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT} = 3166.64$$

Besarnya CA_{inj2}^{AIL} ,

$$CA_{inj2}^{AIL} = 2897.20 \text{ ft}^2$$

c. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-INST} = 0$$

$$fact_3^{IC} = 0.32$$

$$CA_{inj3}^{AIL-CONT} = 1783.87$$

Besarnya CA_{inj3}^{AIL} ,

$$CA_{inj3}^{AIL} = 1212.45 \text{ ft}^2$$

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd1}^{AINL-INST} &= 0 \\ fact_1^{IC} &= 0.005 \\ CA_{cmd1}^{AINL-CONT} &= 11.7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besarnya } CA_{cmd1}^{AINL} &= 11.6 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd2}^{AINL-INST} &= 0 \\ fact_2^{IC} &= 0.09 \\ CA_{cmd2}^{AINL-CONT} &= 187.27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besarnya } CA_{cmd2}^{AINL} &= 171.33 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

c. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd3}^{AINL-INST} &= 0 \\ fact_3^{IC} &= 0 \\ CA_{cmd3}^{AINL-CONT} &= 705 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besarnya } CA_{cmd3}^{AINL} &= 479.17 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$\begin{aligned} CA_{inj1}^{AINL-INST} &= 0 \\ fact_1^{IC} &= 0.005 \\ CA_{inj1}^{AINL-CONT} &= 29.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besarnya } CA_{inj1}^{AINL} &= 29.5 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$\begin{aligned} CA_{inj2}^{AINL-INST} &= 0 \\ fact_2^{IC} &= 0.09 \\ CA_{inj2}^{AINL-CONT} &= 473.84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besarnya } CA_{inj2}^{AINL} &= 433.52 \quad \text{ft}^2 \end{aligned}$$

c. Untuk ukuran lubang 2 inch

$$\begin{aligned} CA_{inj3}^{AINL-INST} &= 0 \\ fact_3^{IC} &= 0.32 \\ CA_{inj3}^{AINL-CONT} &= 1783.87 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besarnya } CA_{inj3}^{AINL} &= 1212.45 \quad \text{ft}^2 \end{aligned}$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area akibat kerusakan komponen menggunakan rumusan 4.45 dan untuk cedera personel dengan menggunakan rumusan 4.46 di bawah ini.

$$CA_{cmd,n}^{flam} = CA_{cmd,n}^{AIL} \times fact^{AIT} + CA_{cmd,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (4.45)$$

$$CA_{inj,n}^{flam} = CA_{inj,n}^{flam-AIL} \times fact^{AIT} + CA_{inj,n}^{AINL} \times (1 - fact^{AIT}) \quad (4.46)$$

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd1}^{AIL} &= 73.8 \\ fact^{AIT} &= 0 \\ CA_{cmd1}^{AINL} &= 11.6 \end{aligned}$$

sehingga

$$CA_{cmd1}^{flam} = 11.6 \quad \text{ft}^2$$

b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd2}^{AIL} &= 1085.887 \\ fact^{AIT} &= 0 \\ CA_{cmd2}^{AINL} &= 171.3318 \end{aligned}$$

sehingga

$$CA_{cmd2}^{flam} = 171.3318$$

c. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$\begin{aligned} CA_{cmd3}^{AIL} &= 3036.932 \\ fact^{AIT} &= 0 \\ CA_{cmd3}^{AINL} &= 479.1691 \end{aligned}$$

sehingga

$$CA_{cmd3}^{flam} = 479.1691$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

- a. Untuk ukuran lubang ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam-AIT} = 197$$

$$fact_{AIT} = 0$$

$$CA_{inj1}^{AINL} = 29.5$$

sehingga

$$CA_{inj1}^{flam} = 29.5 \text{ ft}^2$$

- b. Untuk ukuran lubang 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam-AIT} = 2897.198$$

$$fact_{AIT} = 0$$

$$CA_{inj2}^{AINL} = 433.5236$$

sehingga

$$CA_{inj2}^{flam} = 433.5236$$

- c. Untuk ukuran lubang 16 inch

$$CA_{inj3}^{flam-AIT} = 1212.449$$

$$fact_{AIT} = 0$$

$$CA_{inj3}^{AINL} = 1212.449$$

sehingga

$$CA_{inj3}^{flam} = 1212.449$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel menggunakan rumusan 4.47 dan 4.48 berikut ini.

$$CA_{cmd}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times CA_{cmd,n}^{flam}}{gff_{total}} \right) \quad (4.47)$$

$$CA_{inj}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times CA_{inj,n}^{flam}}{gff_{total}} \right) \quad (4.48)$$

Perhitungan konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen pada masing-masing ukuran lubang pelepasan. Nilai frekuensi kegagalan generik dapat

dilihat pada tabel ... lampiran B. Perhitungan ini dilakukan pada masing-masing ukuran lubang pelepasan.

1. Perhitungan besarnya konsekuensi area untuk *component damage* yaitu :

$$CA_{cmd1}^{flam} = 11.6 \text{ ft}^2$$

$$CA_{cmd2}^{flam} = 171.33184 \text{ ft}^2$$

$$CA_{cmd3}^{flam} = 479.16906 \text{ ft}^2$$

$$gff1 = 8.00E-06$$

$$gff2 = 2.00E-07$$

$$gff3 = 6.00E-05$$

$$gff_{total} = 3.06E-05$$

sehingga

$$CA_{cmd}^{flam} = 943.71061 \text{ ft}^2$$

2. Perhitungan besarnya konsekuensi area untuk *personel injury* yaitu :

$$CA_{inj1}^{flam} = 29.5 \text{ ft}^2$$

$$CA_{inj2}^{flam} = 433.52358 \text{ ft}^2$$

$$CA_{inj3}^{flam} = 1212.4488 \text{ ft}^2$$

$$gff1 = 8.00E-06$$

$$gff2 = 2.00E-07$$

$$gff4 = 6.00E-05$$


$$gff_{total} = 3.06E-05$$

sehingga

$$CA_{inj}^{flam} = 2387.8854 \text{ ft}^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$\begin{aligned} CA &= \max [CA_{cmd} , CA_{inj}] \\ &= \max [943.71061 , 2387.885] \\ &= 2387.8854 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 - V110	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

538.8 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

-21 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

369 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release	Gas
Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.	
Final phase	Gas
Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.	

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small	d₁	:	0.25 inch
Range of hole diameter is 0 - ¼ inch			
Medium	d₂	:	1 inch
Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch			
Rupture	d₄	:	2 inch
Range of hole diameter is > 6 inch			

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small	gff₁	:	8E-06
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Medium	gff₂	:	2E-07
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Rupture	gff₄	:	6E-05
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Total	gff_{total}	:	6.82E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/k-1}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

Cd : Koefisien lubang pelepasan

: 0.9

C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)

: 12

An : Luas area untuk masing-masing nth

: $\pi d_n^2 / 4$

An₁ : 0.05 m²

An₂ : 0.79 m²

An₃ : 3.14 m²

k : Perbandingan kapasitas panas

: 1.0735923

MW : Molecular Weight

: 51

gc : Konstanta gravitasi

: 32.2 lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas

: 1545 ft-lbm/lb-mol°R

Ts : Suhu penyimpanan

: 35 °C = 28 °R

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$$

A : 2.63

B : 0.32
 C : -1.35
 D : 1.47
 T : 308 °rankine

Maka

$$\begin{aligned}
 C_p &= 2.63 + 98 + -127906.301 + 42896364 \\
 &= 4.28E+07 \text{ J/kmol-K} \\
 &= 2.25E+04 \text{ Btu/kmol-°R} \\
 R &= 1545 \text{ ft-lbf/lb-mol°R}
 \end{aligned}$$

$$W_1 = 0.35 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang ¼ inch

$$W_2 = 5.57 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 1 inch

$$W_3 = 22.26 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 2 inch

4. Mengestimasi fluid inventory yang terlepas

4.1. Menentukan kelompok peralatan dan jenis peralatan dalam inventory groups.

$$V = 50\%$$

4.2. Menghitung massa fluida, $mass_{comp}$, pada peralatan yang dianalisa.

$$Mass_{pipe2''} = \rho \times 50\% \times V$$

$$\begin{aligned}
 V &= 33.49 \text{ m}^3 \\
 Mass_{pipe2''} &= 562.9 \text{ lbs}
 \end{aligned}$$

4.3 Menghitung massa fluida pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $mass_{comp,i}$.

$$\begin{aligned}
 mass_{pipe4''} &= 4503 \text{ lbs} \\
 mass_{pipe8''} &= 36023 \text{ lbs}
 \end{aligned}$$

4.4 Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\Sigma mass_{inv.} = 40526 \text{ lbs}$$

4.5 Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

A_n	50.3 inch ²
W_{max8}	356.63 lb/s

4.6 Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

$Mass_{add1}$	62.614 lbs
$Mass_{add2}$	1001.8 lbs
$Mass_{add3}$	4007.3 lbs

4.7 Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

$mass_{avail1}$	625.47 lbs
$mass_{avail2}$	1564.7 lbs
$mass_{avail3}$	4570.2 lbs

5. Menentukan tipe pelepasan (*continuous or instantaneous*)

5.1 Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan 4.536 kg [10000 lbs], untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

t_1	28748 scnd
t_2	1796.7 scnd
t_3	449.18 scnd

5.2 Menentukan tipe pelepasan, *instantaneous* atau *continuous*

a. Hasil perhitungan untuk diameter ¼ inch :

$mass_{avail}$	625.47 lbs
t_n	28748 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

b. Hasil perhitungan untuk diameter 1 inch :

$mass_{avail}$	1564.7 lbs
t_n	1796.7 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

c. Hasil perhitungan untuk diameter 16 inch :

$mass_{avail}$	4570.2 lbs
t_n	449.18 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

6.1 Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis *support* yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

6.2 Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6

Klasifikasi sistem deteksi	B
----------------------------	---

6.3 Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C.

Klasifikasi sistem isolasi	B
----------------------------	---

6.4 Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan tabel 8.7 lampiran C

$fact_{di}$	0.15
-------------	------

6.5 Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, $Id_{max,n}$

Id_{max1}

40 mnt

Id_{max2}

30 mnt

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisis konsekuensi

7. 1 Menghitung laju pelepasan, $rate_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Rate_n = Wn (1-fact_{di})$$

$Rate_1$

0.30 lb/s

$Rate_2$

4.73 lb/s

$Rate_3$

17.81 lb/s

7.2 Menghitung durasi kebocoran, Idn , menggunakan rumusan :

$$Idn = \min\left[\left(\frac{mass_{avail,n}}{rate_n}\right), (60 \times Id_{max,n})\right]$$

Id_n

Omitted

7.3 Menghitung massa pelepasan, $mass_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Mass_n = \min[(rate_n \times Id_n), mass_{avail,n}]$$

$Mass_n$

Omitted

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor*, $fact_{mi}$

$fact_{mi}$

0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor*, $eneff_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$eneff_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot Mass_n] - 15$$

$eneff_n$

Omitted

8.3. Menentukan tipe fluida, apakah tipe 0 atau tipe 1 dari tabel 5.1

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AINL-CONT}$$

$$b_{cmd}^{AINL-CONT}$$

49.48

1

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition not likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition not likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

- a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

11.704 ft²

0.2957 lb/s

- b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

187.27 ft²

4.7308 lb/s

- c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_3^{AIL-CONT}$$

705 ft²

17.81 lb/s

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Continuous Release* (AIL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{cmd}^{AIL-CONT} \\ b_{cmd}^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

313.6
1

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmdn}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd1}^{AIL-CONT} \\ effrate_1^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

74.18 ft²
0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd2}^{AIL-CONT} \\ effrate_2^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

1186.9 ft²
4.7308 lb/s

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd3}^{AIL-CONT} \\ effrate_3^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

4468.2 ft²
17.81 lb/s

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AINL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

Omitted

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

Omitted

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{inj}^{AINL-CONT} \\ b_{inj}^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

125.2
1.00

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{inj1}^{AINL-CONT} \\ effrate_1^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

29.615 ft²
0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{matrix} CA_{inj2}^{AINL-CONT} \\ effrate_2^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

473.84 ft²
4.7308 lb/s

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd3}^{AIL-CONT} \\ effrate_3^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

1783.9 ft²
17.81 lb/s

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely* , *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{inj}^{AIL-CONT} \\ b_{inj}^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

836.7
1

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{inj1}^{AIL-CONT} \\ effrate_1^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

197.91 ft²
0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT}$$

$$3166.6 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-CONT}$$

$$11921 \text{ ft}^2$$

$$effrate_3^{AIL-CONT}$$

$$17.81 \text{ lb/s}$$

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

Omitted

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

Omitted

8.12. Menghitung *instantaneous /continuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC}$$

$$0.0053$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC}$$

$$0.085$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$fact_3^{IC}$$

$$0.32$$

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT}$$

$$0$$

8.14. Menghitung *continuous /instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL}$$

$$73.785 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL}$$

$$1086 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL}$$

$$3036.9 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL}$$

$$196.86 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL}$$

$$2897 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL}$$

$$1212 \text{ ft}^2$$

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$479 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$1212 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam} \quad 11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam} \quad 171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{flam} \quad 479 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam} \quad 29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam} \quad 434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{flam} \quad 1212 \text{ ft}^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage


$$CA_{cmd}^{flam} \quad 943.71 \text{ ft}^2$$

2. Consequence Area for Personel Injury

$$CA_{inj}^{flam} \quad 2387.9 \text{ ft}^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$CA \quad 2387.9 \text{ ft}^2$$

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 - V120	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

538.8 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

-21 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

369 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release	Gas
Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.	
Final phase	Gas
Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.	

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small	d₁	:	0.25 inch
Range of hole diameter is 0 - ¼ inch			
Medium	d₂	:	1 inch
Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch			
Rupture	d₄	:	2 inch
Range of hole diameter is > 6 inch			

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small	gff₁	:	8E-06
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Medium	gff₂	:	2E-07
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Rupture	gff₄	:	6E-05
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Total	gff_{total}	:	6.82E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/k-1}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

Cd : Koefisien lubang pelepasan

: 0.9

C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)

: 12

An : Luas area untuk masing-masing nth

: $\pi d_n^2 / 4$

An₁ : 0.05 m²

An₂ : 0.79 m²

An₃ : 3.14 m²

k : Perbandingan kapasitas panas

: 1.0735923

MW : Molecular Weight

: 51

gc : Konstanta gravitasi

: 32.2 lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas

: 1545 ft-lbm/lb-mol°R

Ts : Suhu penyimpanan

: 35 °C = 28 °R

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$$

A : 2.63

B : 0.32
 C : -1.35
 D : 1.47
 T : 308 °rankine

Maka

$$\begin{aligned}
 \text{Cp} &= 2.63 + 98 + -127906.301 + 42896364 \\
 &= 4.28\text{E}+07 \text{ J/kmol-K} \\
 &= 2.25\text{E}+04 \text{ Btu/kmol-°R} \\
 \text{R} &= 1545 \text{ ft-lbf/lb-mol°R}
 \end{aligned}$$

$$W_1 = 0.35 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang ¼ inch

$$W_2 = 5.57 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 1 inch

$$W_3 = 22.26 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 2 inch

4. Mengestimasi fluid inventory yang terlepas

4.1. Menentukan kelompok peralatan dan jenis peralatan dalam inventory groups.

$$V = 50\%$$

4.2. Menghitung massa fluida, $mass_{comp}$, pada peralatan yang dianalisa.

$$Mass_{pipe2''} = \rho \times 50\% \times V$$

$$\begin{aligned}
 V &= 33.49 \text{ m}^3 \\
 Mass_{pipe2''} &= 562.9 \text{ lbs}
 \end{aligned}$$

4.3 Menghitung massa fluida pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $mass_{comp,i}$.

$$\begin{aligned}
 mass_{pipe4''} &= 4503 \text{ lbs} \\
 mass_{pipe8''} &= 36023 \text{ lbs}
 \end{aligned}$$

4.4 Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\Sigma mass \text{ inv.} = 40526 \text{ lbs}$$

4.5 Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

A_n	50.3 inch ²
W_{max8}	356.63 lb/s

4.6 Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

$Mass_{add1}$	62.614 lbs
$Mass_{add2}$	1001.8 lbs
$Mass_{add3}$	4007.3 lbs

4.7 Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

$mass_{avail1}$	625.47 lbs
$mass_{avail2}$	1564.7 lbs
$mass_{avail3}$	4570.2 lbs

5. Menentukan tipe pelepasan (*continuous or instantaneous*)

5.1 Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan 4.536 kg [10000 lbs], untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

t_1	28748 scnd
t_2	1796.7 scnd
t_3	449.18 scnd

5.2 Menentukan tipe pelepasan, *instantaneous* atau *continuous*

a. Hasil perhitungan untuk diameter ¼ inch :

$mass_{avail}$	625.47 lbs
t_n	28748 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

b. Hasil perhitungan untuk diameter 1 inch :

$mass_{avail}$	1564.7 lbs
t_n	1796.7 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

c. Hasil perhitungan untuk diameter 16 inch :

$mass_{avail}$	4570.2 lbs
t_n	449.18 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

6.1 Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis *support* yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

6.2 Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6

Klasifikasi sistem deteksi	B
----------------------------	---

6.3 Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C.

Klasifikasi sistem isolasi	B
----------------------------	---

6.4 Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan tabel 8.7 lampiran C

$fact_{di}$	0.15
-------------	------

6.5 Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, $Id_{max,n}$

Id_{max1}

40 mnt

Id_{max2}

30 mnt

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisis konsekuensi

7. 1 Menghitung laju pelepasan, $rate_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Rate_n = W_n (1 - fact_{di})$$

$Rate_1$

0.30 lb/s

$Rate_2$

4.73 lb/s

$Rate_3$

17.81 lb/s

7.2 Menghitung durasi kebocoran, Id_n , menggunakan rumusan :

$$Id_n = \min\left[\left(\frac{mass_{avail,n}}{rate_n}\right), (60 \times Id_{max,n})\right]$$

Id_n

Omitted

7.3 Menghitung massa pelepasan, $mass_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Mass_n = \min[(rate_n \times Id_n), mass_{avail,n}]$$

$Mass_n$

Omitted

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor*, $fact_{mi}$

$fact_{mi}$

0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor*, $eneff_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$eneff_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot Mass_n] - 15$$

$eneff_n$

Omitted

8.3. Menentukan tipe fluida, apakah tipe 0 atau tipe 1 dari tabel 5.1

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AINL-CONT}$$

$$b_{cmd}^{AINL-CONT}$$

49.48

1

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida gas.

- a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

11.704 ft²

0.2957 lb/s

- b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

187.27 ft²

4.7308 lb/s

- c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_3^{AIL-CONT}$$

705 ft²

17.81 lb/s

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely, Continuous Release* (AIL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{cmd}^{AIL-CONT} \\ b_{cmd}^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

313.6
1

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmdn}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd1}^{AIL-CONT} \\ effrate_1^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

74.18 ft²
0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd2}^{AIL-CONT} \\ effrate_2^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

1186.9 ft²
4.7308 lb/s

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd3}^{AIL-CONT} \\ effrate_3^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

4468.2 ft²
17.81 lb/s

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AINL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

Omitted

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

Omitted

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{inj}^{AINL-CONT} \\ b_{inj}^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 125.2 \\ 1.00 \end{matrix}$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{inj1}^{AINL-CONT} \\ effrate_1^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 29.615 \text{ ft}^2 \\ 0.2957 \text{ lb/s} \end{matrix}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{matrix} CA_{inj2}^{AINL-CONT} \\ effrate_2^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 473.84 \text{ ft}^2 \\ 4.7308 \text{ lb/s} \end{matrix}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd3}^{AIL-CONT} \\ effrate_3^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 1783.9 \text{ ft}^2 \\ 17.81 \text{ lb/s} \end{matrix}$$

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely* , *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{inj}^{AIL-CONT} \\ b_{inj}^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 836.7 \\ 1 \end{matrix}$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{inj1}^{AIL-CONT} \\ effrate_1^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 197.91 \text{ ft}^2 \\ 0.2957 \text{ lb/s} \end{matrix}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT}$$

$$3166.6 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-CONT}$$

$$11921 \text{ ft}^2$$

$$effrate_3^{AIL-CONT}$$

$$17.81 \text{ lb/s}$$

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

Omitted

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

Omitted

8.12. Menghitung *instantaneous /continuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC}$$

$$0.0053$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC}$$

$$0.085$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$fact_3^{IC}$$

$$0.32$$

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT}$$

$$0$$

8.14. Menghitung *continuous /instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL}$$

$$73.785 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL}$$

$$1086 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL}$$

$$3036.9 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL}$$

$$196.86 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL}$$

$$2897 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL}$$

$$1212 \text{ ft}^2$$

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$479 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$1212 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam} \quad 11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam} \quad 171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{flam} \quad 479 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam} \quad 29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam} \quad 434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{flam} \quad 1212 \text{ ft}^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage


$$CA_{cmd}^{flam} \quad 943.71 \text{ ft}^2$$

2. Consequence Area for Personel Injury

$$CA_{inj}^{flam} \quad 2387.9 \text{ ft}^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$CA \quad 2387.9 \text{ ft}^2$$

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 - V130	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

538.8 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

-21 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

369 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release	Gas
Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.	
Final phase	Gas
Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.	

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small	d₁	:	0.25 inch
Range of hole diameter is 0 - ¼ inch			
Medium	d₂	:	1 inch
Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch			
Rupture	d₄	:	2 inch
Range of hole diameter is > 6 inch			

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small	gff₁	:	8E-06
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Medium	gff₂	:	2E-07
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Rupture	gff₄	:	6E-05
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Total	gff_{total}	:	6.82E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/k-1}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

Cd : Koefisien lubang pelepasan

: **0.9**

C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)

: **12**

An : Luas area untuk masing-masing n^{th}

: $\pi d_n^2 / 4$

An₁ : **0.05** m²

An₂ : **0.79** m²

An₃ : **3.14** m²

k : Perbandingan kapasitas panas

: **1.0735923**

MW : Molecular Weight

: **51**

gc : Konstanta gravitasi

: **32.2** lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas

: **1545** ft-lbm/lb-mol°R

Ts : Suhu penyimpanan

: **35 °C** = **28** °R

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$$

A : **2.63**

B : 0.32
 C : -1.35
 D : 1.47
 T : 308 °rankine

Maka

$$\begin{aligned}
 C_p &= 2.63 + 98 + -127906.301 + 42896364 \\
 &= 4.28E+07 \text{ J/kmol-K} \\
 &= 2.25E+04 \text{ Btu/kmol-°R} \\
 R &= 1545 \text{ ft-lbf/lb-mol°R}
 \end{aligned}$$

$$W_1 = 0.35 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang ¼ inch

$$W_2 = 5.57 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 1 inch

$$W_3 = 22.26 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 2 inch

4. Mengestimasi fluid inventory yang terlepas

4.1. Menentukan kelompok peralatan dan jenis peralatan dalam inventory groups.

$$V = 50\%$$

4.2. Menghitung massa fluida, $mass_{comp}$, pada peralatan yang dianalisa.

$$Mass_{pipe2''} = \rho \times 50\% \times V$$

$$\begin{aligned}
 V &= 33.49 \text{ m}^3 \\
 Mass_{pipe2''} &= 562.9 \text{ lbs}
 \end{aligned}$$

4.3 Menghitung massa fluida pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $mass_{comp,i}$.

$$\begin{aligned}
 mass_{pipe4''} &= 4503 \text{ lbs} \\
 mass_{pipe8''} &= 36023 \text{ lbs}
 \end{aligned}$$

4.4 Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\Sigma mass_{inv.} = 40526 \text{ lbs}$$

4.5 Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

A_n	50.3 inch ²
W_{max8}	356.63 lb/s

4.6 Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

$Mass_{add1}$	62.614 lbs
$Mass_{add2}$	1001.8 lbs
$Mass_{add3}$	4007.3 lbs

4.7 Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

$mass_{avail1}$	625.47 lbs
$mass_{avail2}$	1564.7 lbs
$mass_{avail3}$	4570.2 lbs

5. Menentukan tipe pelepasan (*continuous or instantaneous*)

5.1 Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan 4.536 kg [10000 lbs], untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

t_1	28748 scnd
t_2	1796.7 scnd
t_3	449.18 scnd

5.2 Menentukan tipe pelepasan, *instantaneous* atau *continuous*

a. Hasil perhitungan untuk diameter ¼ inch :

$mass_{avail}$	625.47 lbs
t_n	28748 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

b. Hasil perhitungan untuk diameter 1 inch :

$mass_{avail}$	1564.7 lbs
t_n	1796.7 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

c. Hasil perhitungan untuk diameter 16 inch :

$mass_{avail}$	4570.2 lbs
t_n	449.18 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

6.1 Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis *support* yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

6.2 Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6

Klasifikasi sistem deteksi	B
----------------------------	---

6.3 Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C.

Klasifikasi sistem isolasi	B
----------------------------	---

6.4 Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan tabel 8.7 lampiran C

$fact_{di}$	0.15
-------------	------

6.5 Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, $Id_{max,n}$

Id_{max1}

40 mnt

Id_{max2}

30 mnt

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisis konsekuensi

7. 1 Menghitung laju pelepasan, $rate_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Rate_n = Wn (1-fact_{di})$$

$Rate_1$

0.30 lb/s

$Rate_2$

4.73 lb/s

$Rate_3$

17.81 lb/s

7.2 Menghitung durasi kebocoran, Idn , menggunakan rumusan :

$$Idn = \min\left[\left(\frac{mass_{avail,n}}{rate_n}\right), (60 \times Id_{max,n})\right]$$

Id_n

Omitted

7.3 Menghitung massa pelepasan, $mass_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Mass_n = \min[(rate_n \times Id_n), mass_{avail,n}]$$

$Mass_n$

Omitted

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor*, $fact_{mi}$

$fact_{mi}$

0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor*, $eneff_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$eneff_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot Mass_n] - 15$$

$eneff_n$

Omitted

8.3. Menentukan tipe fluida, apakah tipe 0 atau tipe 1 dari tabel 5.1

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AINL-CONT}$$

$$b_{cmd}^{AINL-CONT}$$

49.48

1

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida gas.

- a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

11.704 ft²

0.2957 lb/s

- b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

187.27 ft²

4.7308 lb/s

- c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_3^{AIL-CONT}$$

705 ft²

17.81 lb/s

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely, Continuous Release* (AIL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{cmd}^{AIL-CONT} \\ b_{cmd}^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

313.6
1

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmdn}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd1}^{AIL-CONT} \\ effrate_1^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

74.18 ft²
0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd2}^{AIL-CONT} \\ effrate_2^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

1186.9 ft²
4.7308 lb/s

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd3}^{AIL-CONT} \\ effrate_3^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

4468.2 ft²
17.81 lb/s

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AINL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

Omitted

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

Omitted

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{inj}^{AINL-CONT} \\ b_{inj}^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

125.2
1.00

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{inj1}^{AINL-CONT} \\ effrate_1^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

29.615 ft²
0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{matrix} CA_{inj2}^{AINL-CONT} \\ effrate_2^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

473.84 ft²
4.7308 lb/s

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd3}^{AIL-CONT} \\ effrate_3^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

1783.9 ft²
17.81 lb/s

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely* , *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{inj}^{AIL-CONT} \\ b_{inj}^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

836.7
1

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{inj1}^{AIL-CONT} \\ effrate_1^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

197.91 ft²
0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT}$$

$$3166.6 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-CONT}$$

$$11921 \text{ ft}^2$$

$$effrate_3^{AIL-CONT}$$

$$17.81 \text{ lb/s}$$

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

Omitted

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

Omitted

8.12. Menghitung *instantaneous /continuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC}$$

$$0.0053$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC}$$

$$0.085$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$fact_3^{IC}$$

$$0.32$$

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT}$$

$$0$$

8.14. Menghitung *continuous /instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL}$$

$$73.785 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL}$$

$$1086 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL}$$

$$3036.9 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL}$$

$$196.86 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL}$$

$$2897 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL}$$

$$1212 \text{ ft}^2$$

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$479 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$1212 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam} \quad 11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam} \quad 171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{flam} \quad 479 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam} \quad 29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam} \quad 434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{flam} \quad 1212 \text{ ft}^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage


$$CA_{cmd}^{flam} \quad 943.71 \text{ ft}^2$$

2. Consequence Area for Personel Injury

$$CA_{inj}^{flam} \quad 2387.9 \text{ ft}^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$CA \quad 2387.9 \text{ ft}^2$$

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 - V140	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

538.8 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

-21 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

369 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release	Gas
Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.	
Final phase	Gas
Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.	

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small	d₁	:	0.25 inch
Range of hole diameter is 0 - ¼ inch			
Medium	d₂	:	1 inch
Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch			
Rupture	d₄	:	2 inch
Range of hole diameter is > 6 inch			

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small	gff₁	:	8E-06
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Medium	gff₂	:	2E-07
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Rupture	gff₄	:	6E-05
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Total	gff_{total}	:	6.82E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/k-1}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

Cd : Koefisien lubang pelepasan

: 0.9

C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)

: 12

An : Luas area untuk masing-masing nth

: $\pi d_n^2 / 4$

An₁ : 0.05 m²

An₂ : 0.79 m²

An₃ : 3.14 m²

k : Perbandingan kapasitas panas

: 1.0735923

MW : Molecular Weight

: 51

gc : Konstanta gravitasi

: 32.2 lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas

: 1545 ft-lbm/lb-mol°R

Ts : Suhu penyimpanan

: 35 °C = 28 °R

Cp = A + BT + CT² + DT³

A : 2.63

B : 0.32
 C : -1.35
 D : 1.47
 T : 308 °rankine

Maka

$$\begin{aligned}
 C_p &= 2.63 + 98 + -127906.301 + 42896364 \\
 &= 4.28E+07 \text{ J/kmol-K} \\
 &= 2.25E+04 \text{ Btu/kmol-°R} \\
 R &= 1545 \text{ ft-lbf/lb-mol°R}
 \end{aligned}$$

$$W_1 = 0.35 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang ¼ inch

$$W_2 = 5.57 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 1 inch

$$W_3 = 22.26 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 2 inch

4. Mengestimasi fluid inventory yang terlepas

4.1. Menentukan kelompok peralatan dan jenis peralatan dalam inventory groups.

$$V = 50\%$$

4.2. Menghitung massa fluida, $mass_{comp}$, pada peralatan yang dianalisa.

$$Mass_{pipe2''} = \rho \times 50\% \times V$$

$$\begin{aligned}
 V &= 33.49 \text{ m}^3 \\
 Mass_{pipe2''} &= 562.9 \text{ lbs}
 \end{aligned}$$

4.3 Menghitung massa fluida pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $mass_{comp,i}$.

$$\begin{aligned}
 mass_{pipe4''} &= 4503 \text{ lbs} \\
 mass_{pipe8''} &= 36023 \text{ lbs}
 \end{aligned}$$

4.4 Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\Sigma mass \text{ inv.} = 40526 \text{ lbs}$$

4.5 Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

A_n	50.3 inch ²
W_{max8}	356.63 lb/s

4.6 Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

$Mass_{add1}$	62.614 lbs
$Mass_{add2}$	1001.8 lbs
$Mass_{add3}$	4007.3 lbs

4.7 Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

$mass_{avail1}$	625.47 lbs
$mass_{avail2}$	1564.7 lbs
$mass_{avail3}$	4570.2 lbs

5. Menentukan tipe pelepasan (*continuous or instantaneous*)

5.1 Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan 4.536 kg [10000 lbs], untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

t_1	28748 scnd
t_2	1796.7 scnd
t_3	449.18 scnd

5.2 Menentukan tipe pelepasan, *instantaneous* atau *continuous*

a. Hasil perhitungan untuk diameter ¼ inch :

$mass_{avail}$	625.47 lbs
t_n	28748 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

b. Hasil perhitungan untuk diameter 1 inch :

$mass_{avail}$	1564.7 lbs
t_n	1796.7 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

c. Hasil perhitungan untuk diameter 16 inch :

$mass_{avail}$	4570.2 lbs
t_n	449.18 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

6.1 Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis *support* yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

6.2 Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6

Klasifikasi sistem deteksi	B
----------------------------	---

6.3 Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C.

Klasifikasi sistem isolasi	B
----------------------------	---

6.4 Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan tabel 8.7 lampiran C

$fact_{di}$	0.15
-------------	------

6.5 Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, $Id_{max,n}$

Id_{max1}

40 mnt

Id_{max2}

30 mnt

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisis konsekuensi

7. 1 Menghitung laju pelepasan, $rate_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Rate_n = Wn (1-fact_{di})$$

$Rate_1$

0.30 lb/s

$Rate_2$

4.73 lb/s

$Rate_3$

17.81 lb/s

7.2 Menghitung durasi kebocoran, Idn , menggunakan rumusan :

$$Idn = \min\left[\left(\frac{mass_{avail,n}}{rate_n}\right), (60 \times Id_{max,n})\right]$$

Id_n

Omitted

7.3 Menghitung massa pelepasan, $mass_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$Mass_n = \min[(rate_n \times Id_n), mass_{avail,n}]$$

$Mass_n$

Omitted

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor*, $fact_{mi}$

$fact_{mi}$

0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor*, $eneff_n$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$eneff_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot Mass_n] - 15$$

$eneff_n$

Omitted

8.3. Menentukan tipe fluida, apakah tipe 0 atau tipe 1 dari tabel 5.1

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AINL-CONT}$$

$$b_{cmd}^{AINL-CONT}$$

49.48

1

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida gas.

- a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

11.704 ft²

0.2957 lb/s

- b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

187.27 ft²

4.7308 lb/s

- c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_3^{AIL-CONT}$$

705 ft²

17.81 lb/s

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely, Continuous Release* (AIL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{cmd}^{AIL-CONT} \\ b_{cmd}^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

313.6
1

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmdn}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

74.18 ft²

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT}$$

1186.9 ft²

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

4.7308 lb/s

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL-CONT}$$

4468.2 ft²

$$effrate_3^{AIL-CONT}$$

17.81 lb/s

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AINL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

Omitted

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

Omitted

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{inj}^{AINL-CONT} \\ b_{inj}^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 125.2 \\ 1.00 \end{matrix}$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{inj1}^{AINL-CONT} \\ effrate_1^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 29.615 \text{ ft}^2 \\ 0.2957 \text{ lb/s} \end{matrix}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$\begin{matrix} CA_{inj2}^{AINL-CONT} \\ effrate_2^{AINL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 473.84 \text{ ft}^2 \\ 4.7308 \text{ lb/s} \end{matrix}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$\begin{matrix} CA_{cmd3}^{AIL-CONT} \\ effrate_3^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 1783.9 \text{ ft}^2 \\ 17.81 \text{ lb/s} \end{matrix}$$

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely* , *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$\begin{matrix} a_{inj}^{AIL-CONT} \\ b_{inj}^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 836.7 \\ 1 \end{matrix}$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$\begin{matrix} CA_{inj1}^{AIL-CONT} \\ effrate_1^{AIL-CONT} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 197.91 \text{ ft}^2 \\ 0.2957 \text{ lb/s} \end{matrix}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT}$$

$$3166.6 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL-CONT}$$

$$11921 \text{ ft}^2$$

$$effrate_3^{AIL-CONT}$$

$$17.81 \text{ lb/s}$$

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

Omitted

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely, Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

Omitted

8.12. Menghitung *instantaneous /continuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC}$$

$$0.0053$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC}$$

$$0.085$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$fact_3^{IC}$$

$$0.32$$

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT}$$

$$0$$

8.14. Menghitung *continuous /instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL}$$

$$73.785 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL}$$

$$1086 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL}$$

$$3036.9 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL}$$

$$196.86 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL}$$

$$2897 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL}$$

$$1212 \text{ ft}^2$$

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$479 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$1212 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam} \quad 11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam} \quad 171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{flam} \quad 479 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam} \quad 29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam} \quad 434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{flam} \quad 1212 \text{ ft}^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage


$$CA_{cmd}^{flam} \quad 943.71 \text{ ft}^2$$

2. Consequence Area for Personel Injury

$$CA_{inj}^{flam} \quad 2387.9 \text{ ft}^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$CA \quad 2387.9 \text{ ft}^2$$

	Consequence of Failure	No. Doc.	:
		Type	:
	Analyse Level 1 Pipe 4" - V110	Date	:
		Rev.	:

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

538.8 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

-21 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

369 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release	Gas
Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.	
Final phase	Gas
Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.	

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small	d₁	:	0.25 inch
Range of hole diameter is 0 - ¼ inch			
Medium	d₂	:	1 inch
Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch			
Rupture	d₄	:	4 inch
Range of hole diameter is > 6 inch			

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small	gff₁	:	8E-06
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Medium	gff₂	:	2E-07
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Rupture	gff₄	:	6E-05
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Total	gff_{total}	:	6.82E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/(k-1)}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

Cd : Koefisien lubang pelepasan

: 0.9

C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)

: 12

An : Luas area untuk masing-masing nth

: $\pi d_n^2 / 4$

An₁ : 0.05 m²

An₂ : 0.79 m²

An₃ : 12.6 m²

k : Perbandingan kapasitas panas

: 1.0735923

MW : Molecular Weight

: 51

gc : Konstanta gravitasi

: 32.2 lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas

: 1545 ft-lbm/lb-mol°R

Ts : Suhu penyimpanan

: 35 °C = 28 °R

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$$

A : 2.63

B : 0.32
 C : -1.35
 D : 1.47
 T : 308 °rankine

Maka

$$\begin{aligned}
 C_p &= 2.63 + 98 + -127906.301 + 42896364 \\
 &= 4.28E+07 \text{ J/kmol-K} \\
 &= 2.25E+04 \text{ Btu/kmol-°R} \\
 R &= 1545 \text{ ft-lbf/lb-mol°R}
 \end{aligned}$$

$$W_1 = 0.35 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang ¼ inch

$$W_2 = 5.57 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 1 inch

$$W_3 = 89.05 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 2 inch

4. Mengestimasi fluid inventory yang terlepas

4.1. Menentukan kelompok peralatan dan jenis peralatan dalam inventory groups.

$$V = 50\%$$

4.2. Menghitung massa fluida, $mass_{comp}$, pada peralatan yang dianalisa.

$$Mass_{pipe2''} = \rho \times 50\% \times V$$

$$V = 267.9 \text{ m}^3$$

$$Mass_{pipe4''} = 4503 \text{ lbs}$$

4.3 Menghitung massa fluida pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $mass_{comp,i}$.

$$mass_{pipe2''} = 563 \text{ lbs}$$

$$mass_{pipe8''} = 36023 \text{ lbs}$$

4.4 Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\Sigma mass_{inv.} = 36586 \text{ lbs}$$

4.5 Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

A_n	50.3 inch ²
W_{max8}	356.63 lb/s

4.6 Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

$Mass_{add1}$	62.614 lbs
$Mass_{add2}$	1001.8 lbs
$Mass_{add3}$	16029 lbs

4.7 Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

$mass_{avail1}$	4565 lbs
$mass_{avail2}$	5505 lbs
$mass_{avail3}$	20532 lbs

5. Menentukan tipe pelepasan (*continuous or instantaneous*)

5.1 Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan 4.536 kg [10000 lbs], untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

t_1	28748 send
t_2	1796.7 send
t_3	112.29 send

5.2 Menentukan tipe pelepasan, *instantaneous* atau *continuous*

a. Hasil perhitungan untuk diameter $\frac{1}{4}$ inch :

mass_{avail}	4565.5 lbs
t_n	28748 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

b. Hasil perhitungan untuk diameter 1 inch :

mass_{avail}	5504.7 lbs
t_n	1796.7 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

c. Hasil perhitungan untuk diameter 16 inch :

mass_{avail}	20532 lbs
t_n	112.29 scnd
Tipe pelepasan	Instantaneous

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

6.1 Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis *support* yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

6.2 Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6

Klasifikasi sistem deteksi	B
----------------------------	----------

6.3 Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C.

Klasifikasi sistem isolasi	B
----------------------------	----------

6.4 Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan tabel 8.7 lampiran C

fact_{di}

0.15

6.5 Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, Id_{max,n}

Id_{max1}

40 mnt

Id_{max2}

30 mnt

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisa konsekuensi

7. 1 Menghitung laju pelepasan, rate_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{Rate}_n = W_n (1 - \text{fact}_{di})$$

Rate₁

0.30 lb/s

Rate₂

4.73 lb/s

7.2 Menghitung durasi kebocoran, Id_n, menggunakan rumusan :

$$Id_n = \min\left[\frac{\text{mass}_{\text{avail},n}}{\text{rate}_n}, (60 \times Id_{\text{max},n})\right]$$

Id₃

Omitted

7.3 Menghitung massa pelepasan, mass_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{Mass}_n = \min[(\text{rate}_n \times Id_n), \text{mass}_{\text{avail},n}]$$

Mass₃

20532.06

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor*, fact_{mi}

fact_{mi}

0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor*, eneff_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{eneff}_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot \text{Mass}_n] - 15$$

eneff₃

2.25

8.3. Menentukan tipe fluida, apakah tipe 0 atau tipe 1 dari tabel 5.1

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AINL-CONT}$$

$$b_{cmd}^{AINL-CONT}$$

49.48

1

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida gas.

- a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

11.704 ft²

0.2957 lb/s

- b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

187.27 ft²

4.7308 lb/s

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely, Continuous Release* (AIL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-CONT}$$

313.6

$$b_{cmd}^{AIL-CONT}$$

1

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmdn}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

74.18 ft²

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT}$$

1186.9 ft²

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

4.7308 lb/s

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AINL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

12660 ft²

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

96875 ft²

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-CONT}$$

125.2

$$b_{inj}^{AINL-CONT}$$

1.00

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT}$$

$$29.615 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

$$0.2957 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-CONT}$$

$$473.84 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely* , *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-CONT}$$

$$836.7$$

$$b_{inj}^{AIL-CONT}$$

$$1$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT}$$

$$197.91 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$0.2957 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT}$$

$$3166.6 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely* , *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Instantaneous Release (AIL-INST)*,

$CA_{injn}^{AIL-INST}$	327732.8
------------------------	----------

8.12. Menghitung *instantaneous /conintinuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$fact_1^{IC}$	0.0053
---------------	--------

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$fact_2^{IC}$	0.085
---------------	-------

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$fact_3^{IC}$	1.00
---------------	------

8.13. Menghitung AIT blending factor

$fact^{AIT}$	0
--------------	---

8.14. Menghitung *continuous /instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

CA_{cmd1}^{AIL}	73.785 ft ²
-------------------	------------------------

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

CA_{cmd2}^{AIL}	1086 ft ²
-------------------	----------------------

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

CA_{cmd3}^{AIL}	96875 ft ²
-------------------	-----------------------

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

CA_{inj1}^{AIL}	196.86 ft ²
-------------------	------------------------

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

CA_{inj2}^{AIL}	2897 ft ²
-------------------	----------------------

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

CA_{inj3}^{AIL}	327733
-------------------	--------

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$12660 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{flam}$$

$$12660 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{flam}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage

$$CA_{cmd}^{flam}$$

$$24829 \text{ ft}^2$$

2. Consequence Area for Personel Injury


$$CA_{inj}^{flam}$$

$$69041 \text{ ft}^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$CA$$

$$69041 \text{ ft}^2$$

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 Pipe 4" - V120	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

538.8 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

-21 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

369 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release	Gas
Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.	
Final phase	Gas
Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.	

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small	d₁	:	0.25 inch
Range of hole diameter is 0 - ¼ inch			
Medium	d₂	:	1 inch
Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch			
Rupture	d₄	:	4 inch
Range of hole diameter is > 6 inch			

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small	gff₁	:	8E-06
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Medium	gff₂	:	2E-07
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Rupture	gff₄	:	6E-05
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Total	gff_{total}	:	6.82E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/(k-1)}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

Cd : Koefisien lubang pelepasan

: **0.9**

C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)

: **12**

An : Luas area untuk masing-masing n^{th}

: $\pi d_n^2 / 4$

An₁ : **0.05** m²

An₂ : **0.79** m²

An₃ : **12.6** m²

k : Perbandingan kapasitas panas

: **1.0735923**

MW : Molecular Weight

: **51**

gc : Konstanta gravitasi

: **32.2** lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas

: **1545** ft-lbm/lb-mol°R

Ts : Suhu penyimpanan

: **35 °C** = **28** °R

Cp = **A + BT + CT² + DT³**

A : **2.63**

B : 0.32
 C : -1.35
 D : 1.47
 T : 308 °rankine

Maka

$$C_p = 2.63 + 98 + -127906.301 + 42896364$$

$$= 4.28E+07 \text{ J/kmol-K}$$

$$= 2.25E+04 \text{ Btu/kmol-°R}$$

$$R = 1545 \text{ ft-lbf/lb-mol°R}$$

$$W_1 = 0.35 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang ¼ inch

$$W_2 = 5.57 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 1 inch

$$W_3 = 89.05 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 2 inch

4. Mengestimasi fluid inventory yang terlepas

4.1. Menentukan kelompok peralatan dan jenis peralatan dalam inventory groups.

$$V = 50\%$$

4.2. Menghitung massa fluida, $mass_{comp}$, pada peralatan yang dianalisa.

$$Mass_{pipe2''} = \rho \times 50\% \times V$$

$$V = 267.9 \text{ m}^3$$

$$Mass_{pipe4''} = 4503 \text{ lbs}$$

4.3 Menghitung massa fluida pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $mass_{comp,i}$.

$$mass_{pipe2''} = 563 \text{ lbs}$$

$$mass_{pipe8''} = 36023 \text{ lbs}$$

4.4 Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\Sigma mass_{inv.} = 36586 \text{ lbs}$$

4.5 Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

A_n	50.3 inch ²
W_{max8}	356.63 lb/s

4.6 Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

$Mass_{add1}$	62.614 lbs
$Mass_{add2}$	1001.8 lbs
$Mass_{add3}$	16029 lbs

4.7 Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

$mass_{avail1}$	4565 lbs
$mass_{avail2}$	5505 lbs
$mass_{avail3}$	20532 lbs

5. Menentukan tipe pelepasan (*continuous or instantaneous*)

5.1 Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan 4.536 kg [10000 lbs], untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

t_1	28748 send
t_2	1796.7 send
t_3	112.29 send

5.2 Menentukan tipe pelepasan, *instantaneous* atau *continuous*

a. Hasil perhitungan untuk diameter $\frac{1}{4}$ inch :

mass_{avail}	4565.5 lbs
t_n	28748 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

b. Hasil perhitungan untuk diameter 1 inch :

mass_{avail}	5504.7 lbs
t_n	1796.7 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

c. Hasil perhitungan untuk diameter 16 inch :

mass_{avail}	20532 lbs
t_n	112.29 scnd
Tipe pelepasan	Instantaneous

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

6.1 Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis *support* yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

6.2 Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6

Klasifikasi sistem deteksi	B
----------------------------	----------

6.3 Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C.

Klasifikasi sistem isolasi	B
----------------------------	----------

6.4 Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan tabel 8.7 lampiran C

fact_{di}

0.15

6.5 Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, Id_{max,n}

Id_{max1}

40 mnt

Id_{max2}

30 mnt

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisa konsekuensi

7. 1 Menghitung laju pelepasan, rate_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{Rate}_n = W_n (1 - \text{fact}_{di})$$

Rate₁

0.30 lb/s

Rate₂

4.73 lb/s

7.2 Menghitung durasi kebocoran, Id_n, menggunakan rumusan :

$$Id_n = \min\left[\frac{\text{mass}_{\text{avail},n}}{\text{rate}_n}, (60 \times Id_{\text{max},n})\right]$$

Id₃

Omitted

7.3 Menghitung massa pelepasan, mass_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{Mass}_n = \min[(\text{rate}_n \times Id_n), \text{mass}_{\text{avail},n}]$$

Mass₃

20532.06

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor*, fact_{mi}

fact_{mi}

0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor*, eneff_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{eneff}_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot \text{Mass}_n] - 15$$

eneff₃

2.25

8.3. Menentukan tipe fluida, apakah tipe 0 atau tipe 1 dari tabel 5.1

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AINL-CONT}$$

$$b_{cmd}^{AINL-CONT}$$

49.48

1

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida gas.

- a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

11.704 ft²

0.2957 lb/s

- b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

187.27 ft²

4.7308 lb/s

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely, Continuous Release* (AIL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-CONT}$$

313.6

$$b_{cmd}^{AIL-CONT}$$

1

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmdn}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

74.18 ft²

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT}$$

1186.9 ft²

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

4.7308 lb/s

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AINL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

12660 ft²

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

96875 ft²

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-CONT}$$

125.2

$$b_{inj}^{AINL-CONT}$$

1.00

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT}$$

$$29.615 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

$$0.2957 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-CONT}$$

$$473.84 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely* , *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-CONT}$$

$$836.7$$

$$b_{inj}^{AIL-CONT}$$

$$1$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT}$$

$$197.91 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$0.2957 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT}$$

$$3166.6 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely* , *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Instantaneous Release (AIL-INST)*,

$$CA_{injn}^{AIL-INST} \quad 327732.8$$

8.12. Menghitung *instantaneous /conintinuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC} \quad 0.0053$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC} \quad 0.085$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$fact_3^{IC} \quad 1.00$$

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT} \quad 0$$

8.14. Menghitung *continuous /instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL} \quad 73.785 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL} \quad 1086 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL} \quad 96875 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL} \quad 196.86 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL} \quad 2897 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL} \quad 327733$$

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$12660 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{flam}$$

$$12660 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{flam}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage

$$CA_{cmd}^{flam}$$

$$24829 \text{ ft}^2$$

2. Consequence Area for Personel Injury


$$CA_{inj}^{flam}$$

$$69041 \text{ ft}^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$CA$$

$$69041 \text{ ft}^2$$

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 Pipe 4" - V130	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

538.8 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

-21 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

369 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release	Gas
Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.	
Final phase	Gas
Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.	

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small	d₁	:	0.25 inch
Range of hole diameter is 0 - ¼ inch			
Medium	d₂	:	1 inch
Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch			
Rupture	d₄	:	4 inch
Range of hole diameter is > 6 inch			

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small	gff₁	:	8E-06
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Medium	gff₂	:	2E-07
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Rupture	gff₄	:	6E-05
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Total	gff_{total}	:	6.82E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/(k-1)}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

Cd : Koefisien lubang pelepasan

: **0.9**

C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)

: **12**

An : Luas area untuk masing-masing n^{th}

: $\pi d_n^2 / 4$

An₁ : **0.05** m²

An₂ : **0.79** m²

An₃ : **12.6** m²

k : Perbandingan kapasitas panas

: **1.0735923**

MW : Molecular Weight

: **51**

gc : Konstanta gravitasi

: **32.2** lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas

: **1545** ft-lbm/lb-mol°R

Ts : Suhu penyimpanan

: **35 °C** = **28 °R**

Cp = **A + BT + CT² + DT³**

A : **2.63**

B : 0.32
 C : -1.35
 D : 1.47
 T : 308 °rankine

Maka

$$C_p = 2.63 + 98 + -127906.301 + 42896364$$

$$= 4.28E+07 \text{ J/kmol-K}$$

$$= 2.25E+04 \text{ Btu/kmol-°R}$$

$$R = 1545 \text{ ft-lbf/lb-mol°R}$$

$$W_1 = 0.35 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang ¼ inch

$$W_2 = 5.57 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 1 inch

$$W_3 = 89.05 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 2 inch

4. Mengestimasi fluid inventory yang terlepas

4.1. Menentukan kelompok peralatan dan jenis peralatan dalam inventory groups.

$$V = 50\%$$

4.2. Menghitung massa fluida, $mass_{comp}$, pada peralatan yang dianalisa.

$$Mass_{pipe2''} = \rho \times 50\% \times V$$

$$V = 267.9 \text{ m}^3$$

$$Mass_{pipe4''} = 4503 \text{ lbs}$$

4.3 Menghitung massa fluida pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $mass_{comp,i}$.

$$mass_{pipe2''} = 563 \text{ lbs}$$

$$mass_{pipe8''} = 36023 \text{ lbs}$$

4.4 Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\Sigma mass_{inv.} = 36586 \text{ lbs}$$

4.5 Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

A_n	50.3 inch ²
W_{max8}	356.63 lb/s

4.6 Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

$Mass_{add1}$	62.614 lbs
$Mass_{add2}$	1001.8 lbs
$Mass_{add3}$	16029 lbs

4.7 Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

$mass_{avail1}$	4565 lbs
$mass_{avail2}$	5505 lbs
$mass_{avail3}$	20532 lbs

5. Menentukan tipe pelepasan (*continuous or instantaneous*)

5.1 Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan 4.536 kg [10000 lbs], untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

t_1	28748 send
t_2	1796.7 send
t_3	112.29 send

5.2 Menentukan tipe pelepasan, *instantaneous* atau *continuous*

a. Hasil perhitungan untuk diameter $\frac{1}{4}$ inch :

mass_{avail}	4565.5 lbs
t_n	28748 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

b. Hasil perhitungan untuk diameter 1 inch :

mass_{avail}	5504.7 lbs
t_n	1796.7 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

c. Hasil perhitungan untuk diameter 16 inch :

mass_{avail}	20532 lbs
t_n	112.29 scnd
Tipe pelepasan	Instantaneous

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

6.1 Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis *support* yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

6.2 Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6

Klasifikasi sistem deteksi	B
----------------------------	----------

6.3 Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C.

Klasifikasi sistem isolasi	B
----------------------------	----------

6.4 Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan tabel 8.7 lampiran C

fact_{di}

0.15

6.5 Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, Id_{max,n}

Id_{max1}

40 mnt

Id_{max2}

30 mnt

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisa konsekuensi

7. 1 Menghitung laju pelepasan, rate_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{Rate}_n = W_n (1 - \text{fact}_{di})$$

Rate₁

0.30 lb/s

Rate₂

4.73 lb/s

7.2 Menghitung durasi kebocoran, Id_n, menggunakan rumusan :

$$Id_n = \min\left[\frac{\text{mass}_{\text{avail},n}}{\text{rate}_n}, (60 \times Id_{\text{max},n})\right]$$

Id₃

Omitted

7.3 Menghitung massa pelepasan, mass_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{Mass}_n = \min[(\text{rate}_n \times Id_n), \text{mass}_{\text{avail},n}]$$

Mass₃

20532.06

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor*, fact_{mi}

fact_{mi}

0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor*, eneff_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{eneff}_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot \text{Mass}_n] - 15$$

eneff₃

2.25

8.3. Menentukan tipe fluida, apakah tipe 0 atau tipe 1 dari tabel 5.1

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AINL-CONT}$$

$$b_{cmd}^{AINL-CONT}$$

49.48

1

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida gas.

- a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

11.704 ft²

0.2957 lb/s

- b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

187.27 ft²

4.7308 lb/s

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely, Continuous Release* (AIL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-CONT}$$

313.6

$$b_{cmd}^{AIL-CONT}$$

1

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmdn}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

74.18 ft²

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT}$$

1186.9 ft²

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

4.7308 lb/s

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AINL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

12660 ft²

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

96875 ft²

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-CONT}$$

125.2

$$b_{inj}^{AINL-CONT}$$

1.00

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT}$$

$$29.615 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

$$0.2957 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-CONT}$$

$$473.84 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely* , *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-CONT}$$

$$836.7$$

$$b_{inj}^{AIL-CONT}$$

$$1$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT}$$

$$197.91 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$0.2957 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT}$$

$$3166.6 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely* , *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Instantaneous Release (AIL-INST)*,

$$CA_{injn}^{AIL-INST} \quad 327732.8$$

8.12. Menghitung *instantaneous /conintinuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC} \quad 0.0053$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC} \quad 0.085$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$fact_3^{IC} \quad 1.00$$

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT} \quad 0$$

8.14. Menghitung *continuous /instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL} \quad 73.785 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL} \quad 1086 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL} \quad 96875 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL} \quad 196.86 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL} \quad 2897 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL} \quad 327733$$

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$12660 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{flam}$$

$$12660 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{flam}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage

$$CA_{cmd}^{flam}$$

$$24829 \text{ ft}^2$$

2. Consequence Area for Personel Injury


$$CA_{inj}^{flam}$$

$$69041 \text{ ft}^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir

$$CA$$

$$69041 \text{ ft}^2$$

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Consequence of Failure	No. Doc.	:	
		Type	:	
	Analyse Level 1 Pipe 4" - V140	Date	:	
		Rev.	:	

1. Menentukan fluida representatif dan sifat-sifatnya

1.1. Fluida representatif

C₃ - C₄

Hidrokarbon terbesar yang terkandung dalam LPG ialah butana (68%).

1.2. Fluida Properties

Stored phase

Liquid

LPG disimpan dalam pressure vessel dengan fase cairan.

Normal Boiling Point

538.8 kg/m³

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Density

-21 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

Auto-ignition Temperature

369 °C

Diambil dari tabel 7.1 lampiran C. Nilai tersebut bergantung pada tipe fluida yang dianalisa.

1.3. Fase steady state fluida

Stored phase

Liquid

Fluida disimpan dalam fase cair.

After release	Gas
Setelah terlepas ke lingkungan akan berubah fase menjadi gas.	
Final phase	Gas
Berdasarkan tabel 7.3 lampiran C, maka fase akhir fluida dimodelkan sebagai gas.	

2. Memilih ukuran lubang pelepasan

2.1. Ukuran lubang pelepasan

Small	d₁	:	0.25 inch
Range of hole diameter is 0 - ¼ inch			
Medium	d₂	:	1 inch
Range of hole diameter is > ¼ inch - 2 inch			
Rupture	d₄	:	4 inch
Range of hole diameter is > 6 inch			

2.2. Menentukan nilai frekuensi kegagalan genericc, *gff* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan

Small	gff₁	:	8E-06
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Medium	gff₂	:	2E-07
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Rupture	gff₄	:	6E-05
Diambil dari tabel 6.1 lampiran B.			
Total	gff_{total}	:	6.82E-05

3. Perhitungan laju pelepasan

3.1. Menghitung besarnya tekanan transisi

$$P_{trans} = P_{atm} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{k/(k-1)}$$

$$P_{trans} = 17.3 \text{ psi}$$

3.2. Menghitung laju pelepasan

$$P_s = 12.1 \text{ bar} = 175 \text{ psi}$$

a. Apabila $P_s > P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left(\frac{k \times MW \times g_c}{R \times T_s} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

b. Apabila $P_s \leq P_{trans}$

$$W_n = \frac{C_d}{C_2} \times A_n \times P_s \sqrt{\left[\left(\frac{MW \cdot g_c}{R \cdot T_s} \right) \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{atm}}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right]}$$

Dimana

Cd : Koefisien lubang pelepasan

: 0.9

C2 : faktor konversi (lihat tabel .. Lampiran C)

: 12

An : Luas area untuk masing-masing nth

: $\pi d_n^2 / 4$

An₁ : 0.05 m²

An₂ : 0.79 m²

An₃ : 12.6 m²

k : Perbandingan kapasitas panas

: 1.0735923

MW : Molecular Weight

: 51

gc : Konstanta gravitasi

: 32.2 lb_m-ft/lb_f-s²

R : Konstanta gas

: 1545 ft-lbm/lb-mol°R

Ts : Suhu penyimpanan

: 35 °C = 28 °R

Cp = A + BT + CT² + DT³

A : 2.63

B : 0.32
 C : -1.35
 D : 1.47
 T : 308 °rankine

Maka

$$\text{Cp} = 2.63 + 98 + -127906.301 + 42896364$$

$$= 4.28\text{E}+07 \text{ J/kmol-K}$$

$$= 2.25\text{E}+04 \text{ Btu/kmol-}^\circ\text{R}$$

$$\text{R} = 1545 \text{ ft-lbf/lb-mol}^\circ\text{R}$$

$$\text{W}_1 = 0.35 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang ¼ inch

$$\text{W}_2 = 5.57 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 1 inch

$$\text{W}_3 = 89.05 \text{ lb/s}$$

Laju pelepasan pada lubang 2 inch

4. Mengestimasi fluid inventory yang terlepas

4.1. Menentukan kelompok peralatan dan jenis peralatan dalam inventory groups.

$$\text{V} = 50\%$$

4.2. Menghitung massa fluida, $\text{mass}_{\text{comp}}$, pada peralatan yang dianalisa.

$$\text{Mass}_{\text{pipe2''}} = \rho \times 50\% \times \text{V}$$

$$\text{V} = 267.9 \text{ m}^3$$

$$\text{Mass}_{\text{pipe4''}} = 4503 \text{ lbs}$$

4.3 Menghitung massa fluida pada masing-masing peralatan lain yang termasuk dalam *inventory group*, $\text{mass}_{\text{comp},i}$.

$$\text{mass}_{\text{pipe2''}} = 563 \text{ lbs}$$

$$\text{mass}_{\text{pipe8''}} = 36023 \text{ lbs}$$

4.4 Menghitung massa fluida dalam inventory group

$$\Sigma \text{mass inv.} = 36586 \text{ lbs}$$

4.5 Menghitung laju aliran (*flow rate*) untuk diameter 203 mm (8 inch)

A_n	50.3 inch ²
W_{max8}	356.63 lb/s

4.6 Menghitung massa fluida tambahan, $mass_{add,n}$, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan, yang dapat menambah jumlah massa fluida dalam peralatan selama 3 menit dengan menggunakan rumus

$$mass_{add,n} = 180 \times \min[W_n, W_{max8}]$$

$Mass_{add1}$	62.614 lbs
$Mass_{add2}$	1001.8 lbs
$Mass_{add3}$	16029 lbs

4.7 Menghitung massa yang tersedia untuk lepas (*available mass for release*) untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$mass_{avail,n} = \min[(mass_{comp} + mass_{add,n}), mass_{inv}]$$

$mass_{avail1}$	4565 lbs
$mass_{avail2}$	5505 lbs
$mass_{avail3}$	20532 lbs

5. Menentukan tipe pelepasan (*continuous or instantaneous*)

5.1 Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan 4.536 kg [10000 lbs], untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan

$$t_n = \frac{C_3}{W_n}$$

t_1	28748 send
t_2	1796.7 send
t_3	112.29 send

5.2 Menentukan tipe pelepasan, *instantaneous* atau *continuous*

a. Hasil perhitungan untuk diameter $\frac{1}{4}$ inch :

mass_{avail}	4565.5 lbs
t_n	28748 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

b. Hasil perhitungan untuk diameter 1 inch :

mass_{avail}	5504.7 lbs
t_n	1796.7 scnd
Tipe pelepasan	Continuous

c. Hasil perhitungan untuk diameter 16 inch :

mass_{avail}	20532 lbs
t_n	112.29 scnd
Tipe pelepasan	Instantaneous

6. Mengestimasi dampak sistem deteksi dan isolasi terhadap besarnya pelepasan.

6.1 Menentukan sistem deteksi dan isolasi yang terdapat di dalam unit.

Jenis *support* yang terpasang pada *pressure vessel* ialah *safety valve*, *transmitter*, LALL, LAHH, *hand valve*, *check valve*, *fire detector*, dll, yang digunakan untuk mendeteksi pada saat terjadi kebocoran. Sedangkan untuk sistem isolasi diaktifkan oleh operator di *control room*.

6.2 Memilih klasifikasi sistem deteksi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6

Klasifikasi sistem deteksi	B
----------------------------	----------

6.3 Memilih klasifikasi sistem isolasi yang sesuai berdasarkan tabel 8.6 lampiran C.

Klasifikasi sistem isolasi	B
----------------------------	----------

6.4 Menentukan faktor reduksi, $fact_{di}$, menggunakan tabel 8.7 lampiran C

fact_{di}

0.15

6.5 Menentukan durasi kebocoran total untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan yang telah dipilih, Id_{max,n}

Id_{max1}

40 mnt

Id_{max2}

30 mnt

7. Menentukan laju pelepasan dan massa pelepasan untuk analisa konsekuensi

7. 1 Menghitung laju pelepasan, rate_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{Rate}_n = W_n (1 - \text{fact}_{di})$$

Rate₁

0.30 lb/s

Rate₂

4.73 lb/s

7.2 Menghitung durasi kebocoran, Id_n, menggunakan rumusan :

$$Id_n = \min\left[\frac{\text{mass}_{\text{avail},n}}{\text{rate}_n}, (60 \times Id_{\text{max},n})\right]$$

Id₃

Omitted

7.3 Menghitung massa pelepasan, mass_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{Mass}_n = \min[(\text{rate}_n \times Id_n), \text{mass}_{\text{avail},n}]$$

Mass₃

20532.06

8. Perhitungan konsekuensi *flammable* dan *explosion*

8.1. Memilih *consequence area mitigation reduction factor*, fact_{mi}

fact_{mi}

0.2

8.2. Menghitung *energy efficiency correction factor*, eneff_n, untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan menggunakan rumusan :

$$\text{eneff}_n = 4 \log_{10}[C_4 \cdot \text{Mass}_n] - 15$$

eneff₃

2.25

8.3. Menentukan tipe fluida, apakah tipe 0 atau tipe 1 dari tabel 5.1

Tipe fluida

Type 0

8.4. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely, Continuous Release* (AINL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AINL-CONT}$$

$$b_{cmd}^{AINL-CONT}$$

49.48

1

- 2) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmd,n}^{AINL-CONT}$$

Omitted

- 3) Menghitung konsekuensi area *component damage, auto-ignition not likely, continuous release* untuk fluida gas.

- a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

11.704 ft²

0.2957 lb/s

- b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL-CONT}$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

187.27 ft²

4.7308 lb/s

8.5. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely, Continuous Release* (AIL-CONT), $CA_{cmd,n}^{AIL-CONT}$

- 1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.8. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{cmd}^{AIL-CONT}$$

313.6

$$b_{cmd}^{AIL-CONT}$$

1

2) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida cair.

$$CA_{cmdn}^{AIL-CONT}$$

Omitted

3) Menghitung konsekuensi area *component damage*, *auto-ignition likely*, *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL-CONT}$$

74.18 ft²

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

0.2957 lb/s

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL-CONT}$$

1186.9 ft²

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

4.7308 lb/s

8.6. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Not Likely*, *Instantaneous Release* (AINL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

12660 ft²

8.7. Menghitung konsekuensi area untuk kerusakan komponen, *Auto-ignition Likely*, *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AIL-INST}$$

96875 ft²

8.8. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely*, *Continuous Release* (AINL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AINL-CONT}$$

125.2

$$b_{inj}^{AINL-CONT}$$

1.00

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition not likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL-CONT}$$

$$29.615 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AINL-CONT}$$

$$0.2957 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL-CONT}$$

$$473.84 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AINL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

8.9. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely* , *Continuous Release* (AIL-CONT),

1) Menentukan konstanta yang sesuai, a dan b, dari tabel 5.9. Fase pelepasan yang telah ditentukan akan digunakan untuk pemilihan konstanta yang tepat.

$$a_{inj}^{AIL-CONT}$$

$$836.7$$

$$b_{inj}^{AIL-CONT}$$

$$1$$

2) Menghitung konsekuensi area *personel injury* , *auto-ignition likely* , *continuous release* untuk fluida gas.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL-CONT}$$

$$197.91 \text{ ft}^2$$

$$effrate_1^{AIL-CONT}$$

$$0.2957 \text{ lb/s}$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL-CONT}$$

$$3166.6 \text{ ft}^2$$

$$effrate_2^{AIL-CONT}$$

$$4.7308 \text{ lb/s}$$

8.10. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Not Likely* , *Instantaneous Release* (AIL-INST),

$$CA_{injn}^{AINL-INST}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.11. Menghitung konsekuensi area cedera personil untuk *Auto-ignition Likely , Instantaneous Release (AIL-INST)*,

$$CA_{injn}^{AIL-INST} \quad 327732.8$$

8.12. Menghitung *instantaneous /conintinuous blending factor* untuk masing-masing ukuran lubang pelepasan.

a. Pada lubang pelepasan ¼ inch

$$fact_1^{IC} \quad 0.0053$$

b. Pada lubang pelepasan 1 inch

$$fact_2^{IC} \quad 0.085$$

c. Pada lubang pelepasan 2 inch

$$fact_3^{IC} \quad 1.00$$

8.13. Menghitung AIT blending factor

$$fact^{AIT} \quad 0$$

8.14. Menghitung *continuous /instantaneous blended consequence area*.

1. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for component damage*.

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AIL} \quad 73.785 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AIL} \quad 1086 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AIL} \quad 96875 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AIL} \quad 196.86 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AIL} \quad 2897 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AIL} \quad 327733$$

3. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for component damage*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{AINL}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{AINL}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{AINL}$$

$$12660 \text{ ft}^2$$

4. Menghitung besarnya *consequence areas for Auto-ignition Not Likely for personel injury*,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{AINL}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{AINL}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{AINL}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.15. Menghitung AIT blended consequence area untuk kerusakan komponen.

1. Menghitung AIT blended consequence area for component damage,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{cmd1}^{flam}$$

$$11.642 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{cmd2}^{flam}$$

$$171 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{cmd3}^{flam}$$

$$12660 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung AIT blended consequence area for personel injury,

a. Pada ukuran lubang pelepasan ¼ inch

$$CA_{inj1}^{flam}$$

$$29.458 \text{ ft}^2$$

b. Pada ukuran lubang pelepasan 1 inch

$$CA_{inj2}^{flam}$$

$$434 \text{ ft}^2$$

c. Pada ukuran lubang pelepasan 2 inch

$$CA_{inj3}^{flam}$$

$$35205 \text{ ft}^2$$

8.16. Menghitung besarnya konsekuensi akhir untuk kerusakan komponen dan cedera personel.

1. Consequence Area for Component Damage

$$CA_{cmd}^{flam}$$

$$24829 \text{ ft}^2$$

2. Consequence Area for Personel Injury

$$CA_{inj}^{flam}$$

$$69041 \text{ ft}^2$$

8. 17. Menentukan besarnya consequence area akhir


$$CA$$

$$69041 \text{ ft}^2$$

LAMPIRAN H

Detail Perhitungan Resiko

Piping Systems

	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 Pipe 2 inch - V110

1. Damage factor total at RBI date

D_f

0.04

2. Total generic failure frequency for pipe-2

g_{ff}

0.0000306

3. Total Factor Management System

F_{MS}

0.779

4. Probability of Failure at RBI date

PoF

0.00000095

5. Category PoF

PoF

1

Low Risk

6. Total consequence area for equipment damage

CA_{cmd}

943.7

7. Total consequence area for personel injury

CA_{inj}

2388

8. Final consequence area

CA

2388

9. Category of CoF

CoF


C

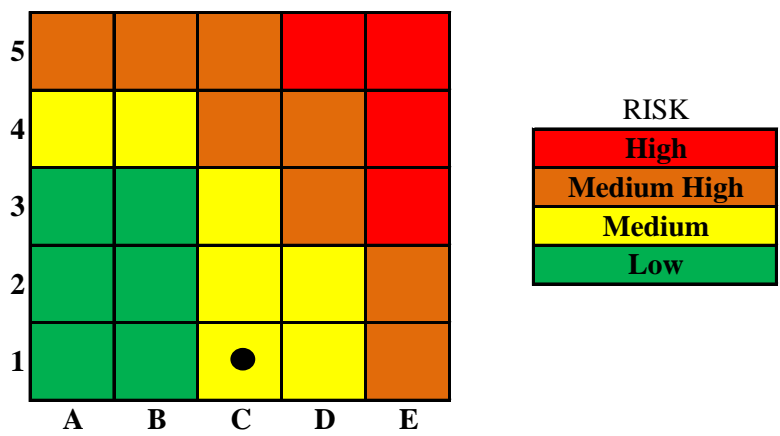
10. Risk Category


Risk

1C

Medium Risk

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Risk Based Inspection
	Risk Matrix Pipe 2 inch - V110



	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 Pipe 2 inch - V120

1. Damage factor total at RBI date

D_f

0.04

2. Total generic failure frequency for pipe-2

g_{ff}

0.0000306

3. Total Factor Management System

F_{MS}

0.779

4. Probability of Failure at RBI date

PoF

0.00000095

5. Category PoF

PoF

1

Low Risk

6. Total consequence area for equipment damage

CA_{cmd}

943.7

7. Total consequence area for personel injury

CA_{inj}

2388

8. Final consequence area

CA

2388

9. Category of CoF

CoF


C

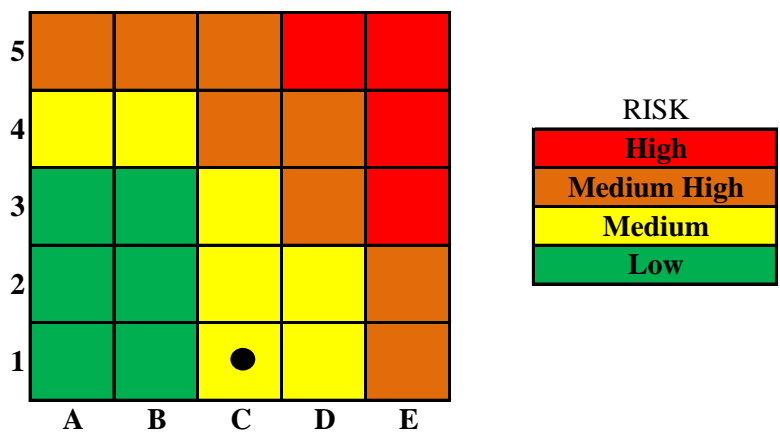
10. Risk Category


Risk

1C

Medium Risk

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Risk Based Inspection
	Risk Matrix Pipe 2 inch - V120



	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 Pipe 2 inch - V130

1. Damage factor total at RBI date

D_f

0.04

2. Total generic failure frequency for pipe-2

g_{ff}

0.0000306

3. Total Factor Management System

F_{MS}

0.779

4. Probability of Failure at RBI date

PoF

0.00000095

5. Category PoF

PoF

1

Low Risk

6. Total consequence area for equipment damage

CA_{cmd}

943.7

7. Total consequence area for personel injury

CA_{inj}

2388

8. Final consequence area

CA

2388

9. Category of CoF

CoF

C

10. Risk Category

Risk

1C

Medium Risk



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Risk Based Inspection

Risk Matrix Pipe 2 inch - V130

5					
4					
3					
2					
1			●		
	A	B	C	D	E


RISK

High

Medium High

Medium

Low

 ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 Pipe 2 inch - V140

1. Damage factor total at RBI date

D_f

0.04

2. Total generic failure frequency for pipe-2

g_{ff}

0.0000306

3. Total Factor Management System

F_{MS}

0.779

4. Probability of Failure at RBI date

PoF

0.00000095

5. Category PoF

PoF

1

Low Risk

6. Total consequence area for equipment damage

CA_{cmd}

943.7

7. Total consequence area for personel injury

CA_{inj}

2388

8. Final consequence area

CA

2388

9. Category of CoF

CoF

C

10. Risk Category

Risk

1C

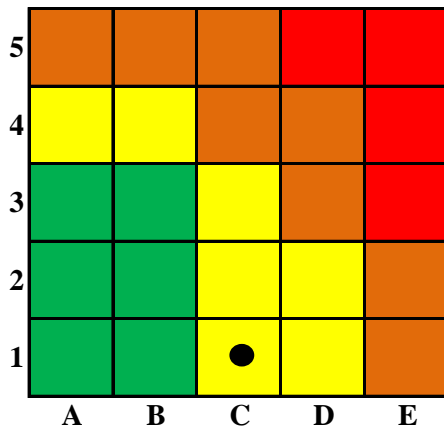
Medium Risk




ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Risk Based Inspection

Risk Matrix Pipe 2 inch - V140



RISK	
High	
Medium High	
Medium	
Low	

	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 Pipe 4 inch - V110

1. Damage factor total at RBI date

D_f

0.04

2. Total generic failure frequency for pipe-2

g_{ff}

0.0000306

3. Total Factor Management System

F_{MS}

0.779

4. Probability of Failure at RBI date

PoF

0.00000095

5. Category PoF

PoF

1

Low Risk

6. Total consequence area for equipment damage

CA_{cmd}

24828.519

7. Total consequence area for personel injury

CA_{inj}

69040.89

8. Final consequence area

CA

69040.89

9. Category of CoF

CoF


E

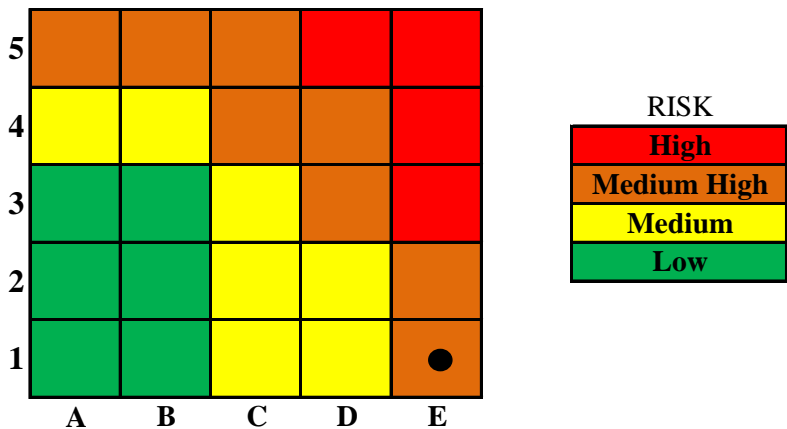
10. Risk Category


Risk

1E

Medium High

	Risk Based Inspection
	Risk Matrix Pipe 4 inch - V110



	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 Pipe 4 inch - V120

1. Damage factor total at RBI date

D_f

0.04

2. Total generic failure frequency for pipe-2

g_{ff}

0.0000306

3. Total Factor Management System

F_{MS}

0.779

4. Probability of Failure at RBI date

PoF

0.00000095

5. Category PoF

PoF

1

Low Risk

6. Total consequence area for equipment damage

CA_{cmd}

24828.519

7. Total consequence area for personel injury

CA_{inj}

69040.89

8. Final consequence area

CA

69040.89

9. Category of CoF

CoF


E

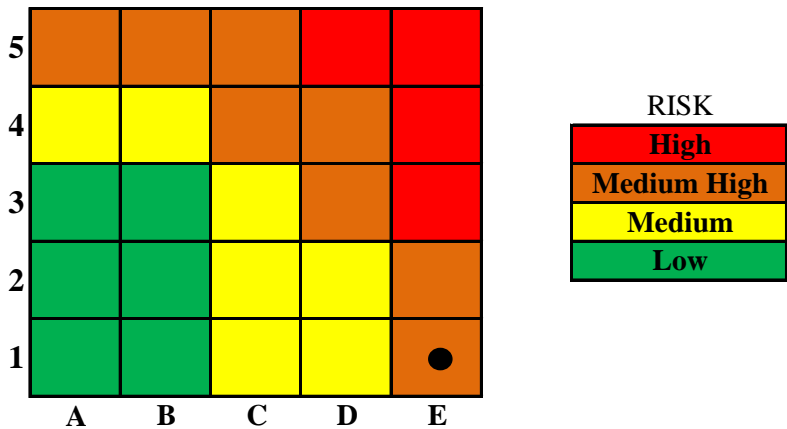
10. Risk Category


Risk

1E

Medium High

	Risk Based Inspection
	Risk Matrix Pipe 4 inch - V120



	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 Pipe 4 inch - V130

1. Damage factor total at RBI date

D_f

0.04

2. Total generic failure frequency for pipe-2

g_{ff}

0.0000306

3. Total Factor Management System

F_{MS}

0.779

4. Probability of Failure at RBI date

PoF

0.00000095

5. Category PoF

PoF

1

Low Risk

6. Total consequence area for equipment damage

CA_{cmd}

24828.519

7. Total consequence area for personel injury

CA_{inj}

69040.89

8. Final consequence area

CA

69040.89

9. Category of CoF

CoF


E

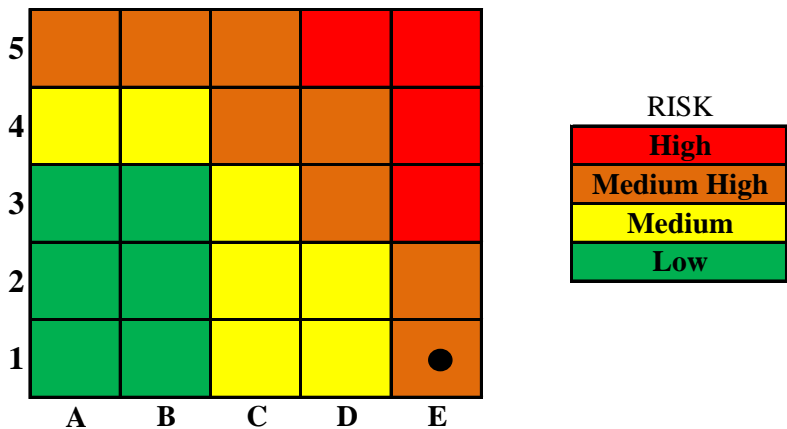
10. Risk Category


Risk

1E

Medium High

	Risk Based Inspection
	Risk Matrix Pipe 4 inch - V130



	Risk Based Inspection
	Risk Analyse Level 1 Pipe 4 inch - V140

1. Damage factor total at RBI date

D_f

0.04

2. Total generic failure frequency for pipe-2

g_{ff}

0.0000306

3. Total Factor Management System

F_{MS}

0.779

4. Probability of Failure at RBI date

PoF

0.00000095

5. Category PoF

PoF

1

Low Risk

6. Total consequence area for equipment damage

CA_{cmd}

24828.519

7. Total consequence area for personel injury

CA_{inj}

69040.89

8. Final consequence area

CA

69040.89

9. Category of CoF

CoF


E

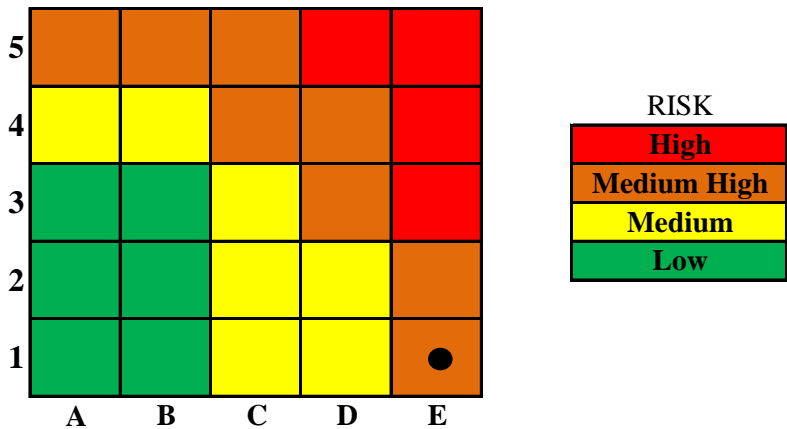
10. Risk Category

Risk

1E

Medium High

	Risk Based Inspection
	Risk Matrix Pipe 4 inch - V140



DAFTAR PUSTAKA

API 510. Juni. 2006. Pressure Vessel Inspection Code : In-Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration, 9th edition. Washington, D.C : API Publishing Services.

API 571. Des. 2003. Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry, 1st edition. Washington, D.C: API Publishing Services

API RP 579. June. 2007. Fitness-For-Service, 2nd edition. Washington, D.C: API Publishing Services.

API RP 580. Sept. 2008. Risk-Based Inspection Technology, 2nd edition. Washington, D.C: API Publishing Services.

API RP 581. Sept. 2008. Risk-Based Inspection Technology, 2nd edition. Washington, D.C: API Publishing Services.

ASME VIII Divisi 2 Part D. 2010. Boiler and Pressure codes. New York.

Devold, Havard. 2013. Oil and gas production handbook an introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry. Etterstad.

Hellier, Charles J.2003. Handbook of Nondestructive Examination. New York : Mc Graw Hill.

Indonesian Piping Knowledge. 2013. Pengertian Pressure Vessel. www.idpipe.com diakses pada 28 Desember 2015.

Kharismawati, Intan. 2012. Penilaian Resiko dan Perencanaan Program Inspeksi pada Pressure Vessel dengan Menggunakan Metode Risk Based Inspection. Surabaya : ITS

Liquified Petroleum Gas. 2009. liquifiedpetroleumgas.blogspot.com diakses pada 28 Desember 2015.

Pierre, Roberge R. 2007. Corrosion Inspection and Monitoring. USA: John Wiley & Sons, Inc

Santos, J.L. 2008. Quantitative Risk Analysis “Theory and Model”. Portugal.

Wikipedia. 2005. Pengertian LPG. <https://id.wikipedia.org/> diakses pada 27 April 2016.

Zaidun, Yasin. 2010. Analisa Perbandingan Metode Assessment Berbasis Resiko dengan Metode Assessment Berbasis Waktu pada Stasiun Pengolahan Gas. Jakarta : UI.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Dyah Arina Wahyu Lillah. Lahir di Lumajang, pada tanggal 27 Juni 1994. Penulis merupakan anak pertama dari 4 bersaudara, dari pasangan Agus Sukariyono dan Rukhanah. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Tempeh-tengah 01, SMPN Tempeh, dan SMAN 1 Lumajang. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan,

Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Surabaya pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 4212100009. Selama menempuh pendidikan S-1, penulis aktif dalam bidang jurnalistik. Pada tahun kedua, penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Departemen Media Informasi, Himasiskal FTK – ITS periode 2013/2014. Sedangkan pada tahun ketiga, penulis pernah menjabat sebagai Kepala Departemen Media dan Informasi Himasiskal FTK – ITS periode 2014/2015. Dan pada tahun keempat penulis mengambil tugas akhir pada bidang minat *Reliability, Availability, Maintainability, and Safety* (RAMS).